

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

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

Crematorios



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

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

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

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

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

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

ÍNDICE

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

- III.A** ORIENTACIÓN
- III.B** PRINCIPIOS Y PLANTEAMIENTOS GENERALES
- III.C** CONSIDERACIONES TRANSECTORIALES:
 - (i) SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE FIGURAN EN EL ANEXO C: MECANISMOS DE FORMACIÓN
 - (ii) CONSIDERACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE DESECHOS
 - (iii) CO-BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES A LAS SUSTANCIAS DEL ANEXO C
 - (iv) GESTIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN Y OTROS RESIDUOS
 - (v) CAPACITACIÓN DE LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES Y EL PERSONAL TÉCNICO
 - (vi) PRUEBAS DE LABORATORIO, MONITOREO Y REGISTRO

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

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

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

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

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

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

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

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

Sección VI.G

Orientación/directrices por categorías de fuentes:
Categorías de fuentes de la Parte III del Anexo C

Categoría de fuentes (g) de la Parte III: Crematorios

VI.G Crematorios	9
1. Descripción del proceso.....	9
2. Fuentes de sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo.....	11
2.1 Información general sobre emisiones de crematorios	11
2.2 Emisiones de PCDD/PCDF al aire	11
2.3 Liberaciones hacia otros medios.....	12
3. Procesos recomendados	12
3.1 Panorama general.....	12
3.2 Mejores técnicas disponibles	12
3.3 Mejores prácticas ambientales.....	13
4. Medidas primarias y secundarias	14
4.1 Medidas primarias.....	14
4.2 Medidas secundarias.....	15
5. Resumen de medidas	17
6. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales.....	20
Referencias	20
 Tablas	
Tabla 1. Medidas para procesos recomendados en crematorios	17
Tabla 2. Resumen de medidas primarias y secundarias para crematorios.....	18
 Figuras	
Figura 1. Esquema de un proceso típico de cremación	10

■ Resumen

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

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

1. Descripción del proceso

La cremación es el proceso de eliminación de un cadáver por incineración. Puede realizarse sin control alguno, a cielo abierto en piras funerarias, o en condiciones controladas, dentro de un horno crematorio instalado en un crematorio. En lo tocante a la prevención de liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes, las presentes directrices harán referencia únicamente a las instalaciones de cremación y no a las alternativas de incineración a cielo abierto o alternativas que no implican incineración. No obstante, cabe señalar que, en algunos países, las prácticas culturales o sociales pueden determinar qué procesos se emplean para la eliminación de cadáveres. Por eso, es importante prestar la debida atención a estos aspectos.

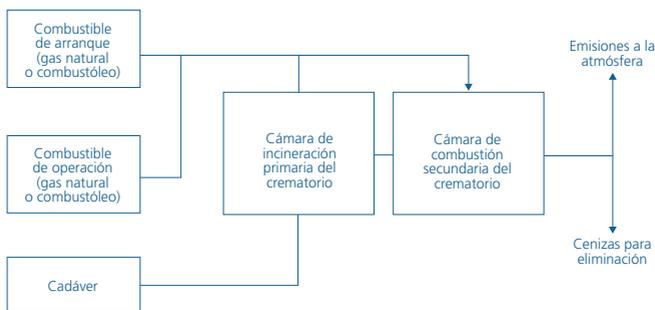
Un horno crematorio típico se compone de dos cámaras de combustión (Figura 1). La primera, o primaria, contiene la solera donde se coloca el ataúd. Se aplica aire por tiro forzado, y uno o dos quemadores principales auxiliares (del orden de 200 a 300 kW). Funcionan generalmente a base de gas, pero en algunos casos funcionan con petróleo. También existen unos pocos modelos de hornos eléctricos. Las cámaras primarias miden por lo regular entre 1.5 y 2.5 m³. El ataúd y el cadáver son incinerados en la solera fija;

luego, los gases de combustión, los productos de combustión incompleta y la material particulado arrastrados, producidos durante el proceso, pasan a la cámara secundaria de combustión.

En esta segunda cámara se puede agregar más aire de combustión, y un sistema de post-combustión ayuda a completar el proceso. A veces, la cámara secundaria también se utiliza para precalentar el aire de combustión para la cámara primaria.

Los gases de combustión son expulsados del horno por medio de un ventilador por tiro inducido o un eyector Venturi. Pocos países exigen la instalación de un equipo de control de contaminación atmosférica al final del proceso de cremación; en estos casos, el sistema que suele emplearse es el de filtración/inyección en seco. En este sistema se inyecta en la corriente de gas enfriado un adsorbente adecuado, por ejemplo una mezcla de cal en polvo y carbón activado; luego, un filtro de manga de gran eficacia elimina el polvo inyectado junto con la material particulado arrastrado. En el Reino Unido, por ejemplo, los nuevos crematorios y algunos crematorios existentes deben estar equipados con estos sistemas de adsorción para controlar las emisiones de mercurio, y que presentan la ventaja adicional de controlar también las emisiones de dioxinas.

■ **Figura 1. Esquema de un proceso típico de cremación**



Muchas instalaciones de todo el mundo están equipadas con modelos más antiguos de hornos crematorios, cuyas cámaras secundarias son más pequeñas, con tiempos de residencia más cortos y a veces sin sistema de post-combustión. Los hornos crematorios más antiguos suelen ser operados manualmente, y el operador determina la duración de la combustión y la distribución del aire.

La cremación ha sido una práctica aceptada, de importancia religiosa y cultural, que muchos países y culturas utilizan ante la muerte de los seres humanos. Para algunos países y culturas, la cremación es parte integral de las prácticas religiosas y funerarias; para otros, se trata de una alternativa voluntaria a la inhumación. Es imprescindible que en todo análisis sobre el diseño y funcionamiento de los crematorios se tenga en cuenta el hecho de que se trata de la eliminación de restos humanos. Por ello, estos estudios deben ser debidamente dignificados, considerando la relación a veces conflictiva entre prácticas sociales y culturales y objetivos ambientales.

2. Fuentes de sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo

Los crematorios pueden formar y liberar PCDD, PCDF, HCB y PCB por la presencia de estos compuestos clorados, precursores o cloro en los cadáveres y en algunos plásticos co-incinerados (ej., ornamentos del ataúd, que en algunos países se han ido eliminados). Se han realizado algunas mediciones de las emisiones de PCDD/PCDF en crematorios, pero los datos para PCB y HCB, si es que los hay, no son siempre uniformes. Por eso, los niveles de emisiones de PCB y HCB son mucho más inciertos que los de emisiones de PCDD/PCDF de estas fuentes.

2.1 Información general sobre emisiones de crematorios

Las emisiones transportadas por aire están compuestas de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), material particulado, compuestos metálicos, entre ellos mercurio, compuestos orgánicos y PCDD/PCDF.

Como ya se ha mencionado, algunos crematorios han instalado equipos para el control de la contaminación atmosférica, por ejemplo, inyección de cal y carbón activado y filtros de tela. Sin embargo, la mayoría tienen sistemas de control de contaminación que van desde los muy básicos (una cámara de combustión y chimenea) hasta los bastante avanzados, con cámaras secundarias de combustión y post-quemadores

2.2 Emisiones de PCDD/PCDF al aire

Los PCDD/PCDF se forman por combustión incompleta o síntesis *de novo* cuando el material de alimentación o la matriz de gases de combustión contienen compuestos orgánicos o clorados.

Aunque se considera que los PCDD/PCDF, el PCB y el HCB se destruyen a altas temperaturas (850°C como mínimo) en presencia de oxígeno, se puede dar una síntesis *de novo* de PCDD/PCDF cuando los gases de combustión se enfrían durante un período largo en una ventana de temperatura que propicia su reformación (entre 200°C y 400°C). Puede darse esta ventana de reformación en sistemas de reducción, equipo de recuperación de energía y en las partes más frías del horno, por ejemplo, en el área de alimentación. Para evitar la síntesis *de novo*, es importante tomar las debidas precauciones al diseñar sistemas de enfriamiento para reducir los tiempos de residencia en la ventana de reformación.

En muchos países, el equipo de cremación suele instalarse en construcciones antiguas que no fueron concebidas para tal fin. A menudo, tienen largos tramos horizontales de ducto cuyas temperaturas se encuentran en esta ventana de reformación. En estos sistemas también se deposita material particulado, que suele contener precursores adsorbidos, con lo que se potencian las reacciones de reformación.

En el Reino Unido, por ejemplo, se exige que los hornos crematorios logren concentraciones de emisiones de PCDD/PCDF inferiores a 0.1 ng EQT-l/m³ normalizado a 11% de oxígeno, temperatura y presión seca y estándar (0°C, 101.3 kPa).¹

Sin embargo, sólo se debe demostrar que se han logrado los requisitos técnicos de combustión de tiempo de residencia, temperatura y oxígeno en la cámara secundaria.

Al examinar el manual de normatividad revisado, se realizó un estudio sobre emisiones de hornos crematorios típicos. Las pruebas arrojaron concentraciones de PCDD/PCDF entre 0.01 y 0.12 ng EQT-l/m³, y concentraciones bajas de PCB, aunque los límites de detección desempeñaron un papel importante en la estimación de liberaciones.

2.3 Liberaciones hacia otros medios

Por la naturaleza del proceso, las cenizas son un producto ético y no suelen ser objeto de control. Esparcir las cenizas en agua, por ejemplo, es una vía potencial de liberación de contaminantes. Por otro lado, quedan deposiciones en las cámaras y ductos del horno crematorio que se eliminan al efectuar el mantenimiento rutinario. En el Reino Unido, este material se entierra a gran profundidad en el perímetro del crematorio (al igual que los metales recuperados de la solera y las cenizas recuperadas). La Federation of British Cremation Authorities y la Cremation Society of Great Britain realizaron un pequeño estudio para determinar los niveles de PCDD/PCDF en cenizas (Edwards 2001). Las concentraciones en cenizas resultaron lo suficientemente bajas para ser consideradas insignificantes en términos de potencial de riesgo de exposición.

3. Procesos recomendados

3.1 Panorama general

Los hornos crematorios deberían ser diseñados para cumplir con los requisitos mínimos de temperatura de 850°C, tiempo de residencia de los gases de combustión de 2 segundos y suficiente exceso de aire que garantice la combustión. A menos que demuestren que pueden operar sin emitir cantidades importantes de contaminantes orgánicos persistentes, se debería desaconsejar el uso de modelos que no puedan cumplir estos requisitos.

Las instalaciones más grandes, como las reglamentadas por la Directiva de Prevención y Control Integral de la Contaminación en la Unión Europea, pueden estar, además, sujetas a importantes requisitos de control de contaminación atmosférica para cumplir con las disposiciones referentes a otros contaminantes, como la reducción selectiva no catalítica para el control de NO_x, inyección de cal para el control de gases ácidos (SO₂ y HCl), inyección de carbono para el control de mercurio y PCDD/PCDF, y filtros de tela para el control de material particulado.

3.2 Mejores técnicas disponibles

- Las mejores técnicas disponibles son las que abarcan tanto aspectos de tecnología como de gestión. El control de contaminantes orgánicos persistentes debería comprender los siguientes elementos y consideraciones:
- Un horno crematorio que cumpla los requisitos mínimos de temperatura, tiempo de residencia y oxígeno, y que pueda demostrar su cumplimiento.

- Equipo adecuado para el control de contaminación atmosférica (para controlar contaminantes orgánicos persistentes tendría que poder efectuar la gestión de temperatura para controlar el tiempo de residencia en la ventana de reformación, y emplear inyección de carbono y filtros de tela o sus equivalentes) además de la inhumación de todo material recolectado en condiciones cultural y ambientalmente adecuadas.
- Las cámaras de combustión y revestimientos deberían ser lo más herméticos posibles y operar a presiones reducidas para disminuir al mínimo la liberación de gases de combustión.
- Se deberían monitorear las temperaturas de los gases para que los sistemas de control se ciñan a los criterios de temperatura mínima (apoyándose en el empleo de quemadores de combustible auxiliar) y prever un sistema de bloqueo de seguridad para detener la carga cuando la temperatura caiga por debajo del nivel mínimo.
- Se deberían monitorear los niveles de oxígeno y monóxido de carbono de los gases de combustión y vincularlos al sistema de control para garantizar el control adecuado de suministros de aire y resolver los problemas de combustión.
- Mecanización de la carga y manipulación de ataúdes para reducir la exposición de los operadores.
- Las instalaciones de almacenamiento de ataúdes deben estar bajo llave, refrigeradas, ser a prueba de roedores y aves y contar con un sistema de control de olores.
- El ataúd y sus aditamentos deberían estar hechos de material combustible. Evitar el uso o la introducción de artículos que contengan PVC, metales y otros compuestos clorados.
- Control efectivo de la operación, inspección y mantenimiento preventivo de componentes que, en caso de falla, pueden liberar contaminantes orgánicos persistentes y afectar el medio ambiente.
- Deberían determinarse las competencias de los operadores y proporcionar la correspondiente capacitación.
- Aplicación de valores límite de emisión de contaminantes orgánicos persistentes, y monitoreo de emisiones para demostrar su cumplimiento.
- No se han considerado las mejores técnicas disponibles para otros contaminantes y hay que tener en cuenta que en cada planta habrá otros factores que incidan en la definición de mejores técnicas disponibles (ej., uso de agua y energía).

3.3 Mejores prácticas ambientales

En cuanto a mejores prácticas ambientales, los países deberían, en primera instancia, procurar que se construyan instalaciones que puedan cumplir los criterios mínimos de temperatura del horno, tiempo de residencia y oxígeno. Cabe señalar que quizás sea necesario instalar equipos de control de contaminación atmosférica para cumplir con la

reglamentación local sobre emisiones y calidad del aire para otros contaminantes además de los orgánicos persistentes.

En los casos en que las instalaciones cuenten con equipo para el control de contaminación atmosférica o de recuperación de energía, este equipo debe estar diseñado para reducir o eliminar el riesgo de formación *de novo* de PCDD/PCDF, reduciendo al mínimo el tiempo de residencia del material en la ventana de temperatura de reformación. Al entrar en operación se deberían realizar mediciones para demostrar que las emisiones de estas instalaciones no contienen contaminantes orgánicos persistentes.

4. Medidas primarias y secundarias

4.1 Medidas primarias

Las medidas primarias se consideran técnicas de prevención de la contaminación para reducir o eliminar la generación y liberación de contaminantes orgánicos persistentes. A continuación se exponen algunas.

4.1.1 Diseño del horno crematorio

Las condiciones del horno crematorio deberían permitir una temperatura mínima constante de 850°C durante las fases de carga, incineración y recuperación de las cenizas del ataúd y el cadáver, con un tiempo de residencia de gases de 2 segundos y suficiente oxígeno para garantizar la destrucción de todo contaminante residual.

Para cumplir estos criterios, se requerirá una cámara de combustión secundaria con post-quemadores o inyección de aire. Se debería procurar que la cámara secundaria tenga las dimensiones adecuadas y el volumen requerido (volumen de los gases después de la última inyección de combustible o de aire de combustión y con una temperatura mínima de 850°C en todo el volumen). Es importante evitar que los gases de combustión se enfríen hasta llegar a temperaturas del rango de reformación.

Se sabe que resulta difícil recuperar cenizas a 850°C en crematorios pequeños y no mecanizados.

4.1.2 Preparación previa a la cremación

Deberían evitarse PVC, metales y otros contaminantes (en especial compuestos clorados) en los materiales de fabricación del ataúd y sus aditamentos, con el fin de reducir la generación de contaminantes orgánicos persistentes por combustión incompleta o síntesis *de novo*. Una acertada selección de los materiales puede controlar en forma efectiva la emisión de contaminantes.

Asimismo, debería evitarse colocar objetos personales en el ataúd, o sólo permitirse en condiciones determinadas, a fin de impedir que incrementen el potencial de generación de contaminantes orgánicos persistentes. Los crematorios pueden proporcionar orientación, por ejemplo, sobre implantes médicos y objetos de valor sentimental (Australasian Cemeteries and Crematoria Association 2004).

4.1.3 Combustibles

Se debería reducir al mínimo el uso de combustibles provenientes de desechos u otros combustibles potencialmente contaminados con contaminantes orgánicos persistentes. No se deben utilizar durante el encendido o en alteraciones del proceso, cuando las temperaturas son inferiores a 850°C y las condiciones pueden ser inestables. Las grandes instalaciones deberían procurar la combustión autosuficiente en el horno a fin de reducir al mínimo el uso de combustible.

4.1.4 Control efectivo de la combustión

Son tres los principios esenciales de un buen control de la combustión en los hornos crematorios:

- En la entrada y salida de la cámara secundaria, mantener una temperatura mínima de 850°C.
- En la cámara secundaria, mantener la concentración de oxígeno (y, por consiguiente, de exceso de aire) por encima del 6% por volumen.
- Mantener los gases de combustión dentro de la cámara secundaria por lo menos durante 2 segundos.

4.1.5 Control efectivo del proceso

Deberían emplearse sistemas de control del proceso para mantener su estabilidad y funcionamiento a niveles paramétricos que contribuyan a reducir la generación de contaminantes orgánicos persistentes, por ejemplo, manteniendo una temperatura mínima de 850°C en el horno. Se deberían mantener y vigilar continuamente las variables como temperatura, tiempo de residencia y niveles de CO, compuestos orgánicos volátiles y otros componentes de gases a fin de establecer condiciones de operación óptimas.

4.1.6 Competencia de los operadores

La gestión de las instalaciones es el elemento clave para garantizar una operación segura y ambientalmente adecuada. Todo el personal que trabaja en las instalaciones debería estar plenamente familiarizado con las tareas asignadas, en particular respecto al funcionamiento habitual, mantenimiento, fallas en el proceso y legislación ambiental local. Para asegurar la competencia de los operadores se debe facilitar la capacitación al nivel adecuado para cada instalación.

4.2 Medidas secundarias

Las medidas secundarias son técnicas de control de la contaminación. Estos métodos no eliminan la generación de contaminantes pero sirven para contener y prevenir emisiones.

4.2.1 Recolección de humos y gases

Se deberían controlar las emisiones atmosféricas en todas las fases del proceso, incluso en el manejo de material, en los puntos de combustión y transferencia del material, a fin de controlar la emisión de contaminantes orgánicos persistentes. Los hornos sellados son esenciales para retener las emisiones fugitivas y al mismo tiempo permitir la recuperación de calor y la recolección de gases residuales para eliminación o descarga. Un diseño adecuado de los sistemas de extracción y de los ductos es fundamental para reducir al mínimo las descargas fugitivas.

4.2.2 Equipo de control de contaminación atmosférica

Las instalaciones grandes deberían utilizar equipos de control de contaminación atmosférica para controlar todas las emisiones importantes hacia la atmósfera. Una cuidadosa selección, diseño y uso del equipo de control de contaminación atmosférica para otros contaminantes también ayudará, en general, a reducir las emisiones de contaminantes orgánicos persistentes. El diseño debe tener en cuenta el potencial de formación *de novo* de ciertos contaminantes orgánicos persistentes y reducir al mínimo tal potencial. El material particulado debería eliminarse a fin de reducir las emisiones de PCDD/PCDF en la atmósfera (aunque sean descargadas en rellenos). Los filtros de tela son un método efectivo pero se trata de sistemas que funcionan a bajas temperaturas (hasta 200°C).

Se deberían monitorear constantemente las operaciones de control de contaminación atmosférica mediante dispositivos para de detección de fallas. Los métodos de limpieza en línea y el uso de recubrimientos catalíticos para destruir PCDD/PCDF son otras opciones.

Se debería considerar el tratamiento con carbón activado para eliminar contaminantes orgánicos persistentes en gases de salida. El carbón activado posee una gran área superficial en la que se pueden adsorber los PCDD/PCDF. Los gases de salida pueden ser tratados con carbón activado empleando reactores de lecho fijo o móvil, o inyectando carbón activado pulverizado en la corriente de gases y, posteriormente, eliminándolos con sistemas de eliminación de polvo de alta eficiencia como los filtros de tela.

5. Resumen de medidas

Las tablas 1 y 2 presentan un resumen de las medidas analizadas anteriormente.

■ **Tabla 1. Medidas para procesos recomendados en crematorios**

Medida	Descripción	Consideraciones	Otros comentarios
Procesos recomendados	Instalaciones grandes y nuevas en países desarrollados	Mínimo 850°C y tiempo de residencia de 2 segundos en volumen requerido con suficiente aire para garantizar la destrucción de contaminantes orgánicos persistentes. Instalar equipo de control de contaminación atmosférica para reducir emisiones de SO ₂ , HCl, CO, compuestos orgánicos volátiles, material particulado y contaminantes orgánicos persistentes.	Se consideran mejores técnicas disponibles. También deberían contar con sistemas de gestión, y demostrar que las instalaciones cumplen con los valores límite de emisión, así como monitorear constantemente las emisiones para garantizar su cumplimiento.
	Pequeñas instalaciones	Mínimo 850°C y tiempo de residencia de 2 segundos en volumen requerido con suficiente aire para garantizar la destrucción de contaminantes orgánicos persistentes.	Para plantas más pequeñas, estas condiciones deberían ser las mínimas en lo relativo a contaminantes orgánicos persistentes. Podrían adoptarse con un sistema de homologación, e inspección de la gestión de las instalaciones (en lugar de las costosas pruebas de emisiones).

■ **Tabla 2. Resumen de medidas primarias y secundarias para crematorios**

Medida	Descripción	Consideraciones	Otros comentarios
Medidas primarias			
Diseño del horno			Ideal para potenciar la destrucción de contaminantes orgánicos persistentes y reducir su formación.
Preparación previa a la cremación	Se debería evitar la presencia de plásticos, metales y compuestos de cloro en el material y aditamentos del ataúd para reducir la generación de contaminantes orgánicos persistentes por combustión incompleta o por síntesis <i>de novo</i> .	Eliminación de plásticos clorados.	Tecnología de poca complejidad; ha funcionado con éxito en el Reino Unido.
Combustibles	Combustibles auxiliares limpios.		
Control efectivo de la combustión	Las condiciones técnicas de combustión deben cumplir los requisitos mínimos de temperatura, oxígeno y tiempo de residencia.	Buenos resultados de combustión a mínimo 850°C, 6% de O ₂ y tiempo de residencia de 2 segundos.	Requiere buenos principios de diseño y técnicas de control precisas para cumplir los requisitos.
Control efectivo del proceso	Se deberían utilizar sistemas de control del proceso para mantener la estabilidad su estabilidad y operar a niveles paramétricos que contribuyan a reducir la emisión de contaminantes orgánicos persistentes.	Las emisiones de PCDD/PCDF pueden reducirse controlando otras variables como temperatura, tiempo de residencia, componentes gaseosos, etc.	El uso de la temperatura es un parámetro de control bastante básico. Monitorear el oxígeno, CO y compuestos orgánicos volátiles es más complejo pero preciso. Sin embargo, lo principal es mantener un sistema de control que pueda utilizar datos en tiempo real que permitan controlar los reguladores del suministro de aire para la combustión y quemadores auxiliares, entre otros elementos.

Medida	Descripción	Consideraciones	Otros comentarios
Capacitación de los operadores			Los fabricantes de hornos crematorios y las organizaciones profesionales pueden dar capacitación completa a los operadores. Ej.: el programa Crematorium Technicians Training Scheme, aplicado en el Reino Unido.

Medidas secundarias

Recolección de humos y gases	Retención efectiva de los gases del horno en todas las condiciones del proceso de cremación para evitar las liberaciones fugitivas.	Considerar la utilización de hornos sellados para retener emisiones fugitivas y permitir al mismo tiempo la recuperación de calor y la recolección de gases de salida.	
Equipo de control de contaminación atmosférica	La eliminación del material particulado ayudará a reducir el potencial de emisión de contaminantes orgánicos persistentes. El tratamiento con carbón activado debería considerarse ya que este material posee una gran área superficial en la que se pueden adsorber PCDD/PCDF de gases de salida.	Los filtros de tela son la técnica más efectiva de eliminación de material particulado y son compatibles con el uso de sorbentes secos y semihúmedos para el control de gases ácidos y metales. Sin embargo, exige una reducción de temperatura. Inyección de carbón activado pulverizado en la corriente de gases seguida de la eliminación como polvo de filtro.	El uso de dispositivos para el control de la contaminación genera flujos adicionales de desechos y requiere el uso de consumibles. Posiblemente requerirá reducción de la temperatura de los gases de combustión (para evitar el uso de medios de filtración más exóticos). Por consiguiente, se debe procurar reducir la permanencia en la ventana de reformación. Es mejor evitar la formación de los contaminantes orgánicos persistentes en el horno. Sin embargo, este método proporciona cierto respaldo en casos de falla del proceso, y en Europa se considera una mejor técnica disponible para procesos de incineración.

6. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales

El nivel de desempeño para emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF de crematorios es de <0.1 ng EQT-I/Nm³. Para plantas de combustión, estos niveles de emisión se expresan como concentraciones de masa a 11% de oxígeno, temperatura y presión secas y estándar (0°C, 101.3 kPa). En vista de la escasa información uniforme sobre emisiones de PCB y HCB de hornos crematorios, no se tiene claridad respecto a los niveles de emisión que pueden lograrse para estas sustancias.

Los valores de PCDD/PCDF de crematorios en el Reino Unido (Edwards 2001) se encuentran entre 0.01 y 0.12 ng EQT-I/Nm³. Los valores de PCDD/PCDF de plantas en Francia se sitúan entre 0.1 y 4.2 ng EQT-I/Nm³ (Livolsi *et al.* 2006). El resultado promedio obtenido por el PNUMA sobre PCDD/PCDF de los crematorios de Bangkok (que tienen un largo ducto de escape de ladrillo) fue de 17.6 ng EQT-I/Nm³ (Fiedler 2001). Un estudio de los crematorios en Corea arrojó concentraciones de PCDD/PCDF de 0.46 a 2.1 ng EQT-I/Nm³ (Kim *et al.* 2003).

Referencias

Australasian Cemeteries and Crematoria Association. 2004. *Cemetery Trust Manual*. Victorian Government Department of Human Services, Public Health Division.

Edwards P. 2001. "Review of Emissions from Crematoria in the UK." AEA Technology Report. *Resurgam* 44:81–128 and *Pharos International* 67:3.

Fiedler H. 2001. *Thailand Dioxin Sampling and Analysis Program*. Report by UNEP Chemicals in cooperation with PCD, GTZ, Euro Chlor.

Kim D.H. *et al.* 2003. "Estimation of PCDDs, PCDFs and PAHs Emission from Crematories in Korea." *Organohalogen Compd.* 63:9–12.

Livolsi B, Labrousse S, Baron P, Fiani E. (2006) "Dioxin emissions from French crematoria and associated health impact" *Organohalogen Compounds* 68. In press.

Notas

¹ 1 ng (nanogramo) = 1×10^{-12} kilogramo (1×10^{-9} g). La subsección 3 de la sección I.C de las presentes directrices contiene más información sobre mediciones de la toxicidad.

