

Sección V

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

**Categoría de fuentes (a) de la Parte II:
Incineradoras de desechos**

Índice

Lista de tablas	ii
Lista de ilustraciones	iii
V.A Incineradoras de desechos	1
(i) Desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos y lodos de alcantarillado	1
1. Introducción	2
2. Descripción del proceso	2
2.1 Incineración de desechos sólidos urbanos	3
2.2 Incineración de desechos peligrosos	5
2.3 Incineración de lodos de alcantarillado	8
3. Fuentes de formación de las sustancias que figuran en el Anexo C	10
4. Alternativas a la incineración de desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos y lodos de alcantarillado	13
5. Mejores prácticas ambientales para la incineración de desechos	14
5.1 Prácticas de gestión de desechos	14
5.2 Prácticas de operación y gestión de incineradoras	16
6. Mejores técnicas disponibles para la incineración	18
6.1 Selección del sitio	19
6.2 Mejores técnicas disponibles para el ingreso y control de desechos	19
6.3 Mejores técnicas disponibles para la combustión	20
6.4 Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de gases de combustión	22
6.5 Técnicas de gestión para residuos sólidos	24
6.6 Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de efluentes	25
6.7 Efecto de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en otros contaminantes	25
6.8 Incineradores nuevos y con importantes modificaciones	26
6.9 Modificación de incineradoras de desechos existentes	27
7. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles	27
Referencias	28
(ii) Desechos médicos	29
1. Introducción	29
2. Categorías de desechos sanitarios	30
2.1 Desechos médicos infecciosos	30
2.2 Desechos biológicos procedentes de la asistencia sanitaria	30
2.3 Objetos cortantes	31
3. Técnicas alternativas para fuentes nuevas y existentes	31

3.1 Fuentes nuevas	31
3.2 Fuentes existentes	31
3.3 Técnicas alternativas	31
4. Mejores prácticas ambientales para la gestión de desechos sanitarios	36
4.1 Reducción en la fuente	37
4.2 Separación	37
4.3 Recuperación y reciclaje de recursos	37
4.4 Capacitación del personal	37
4.5 Recolección en el sitio de generación de los desechos	38
4.6 Transporte al área de almacenamiento intermedio	38
5. Técnicas aplicadas a la incineración de desechos médicos	38
5.1 Descripción del proceso	38
5.2 Técnicas de tratamiento térmico	40
5.3 Depuración de gases de combustión	42
5.4 Tratamiento de cenizas volantes y de fondo, tratamiento de aguas residuales	42
6. Mejores técnicas disponibles y resumen de mejores prácticas ambientales	42
7. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles	48
Referencias	49
Otras fuentes	49

Lista de tablas

Sección V.A (i)

Tabla 1. Desechos y residuos sólidos de la incineración de desechos sólidos urbanos	11
Tabla 2. Escalas de concentración de compuestos orgánicos en cenizas de plantas modernas	11
Tabla 3. Cálculo de liberaciones de PCDD/PCDF de incineradoras de desechos urbanos en diferentes medios	12
Tabla 4. Ejemplos de técnicas de inspección	15
Tabla 5. Ejemplos de técnicas de separación	16

Sección V.A (ii)

Tabla 1. Orientación general	43
Tabla 2. Incineración de desechos sanitarios: Tecnologías de combustión que representan mejores técnicas disponibles	44
Tabla 3. Incineración de desechos sanitarios: Medidas generales	44
Tabla 4. Incineración de desechos sanitarios: Medidas de organización	45
Tabla 5. Medidas primarias y máximo aprovechamiento del proceso para reducir emisiones de PCDD/PCDF	46
Tabla 6. Medidas secundarias	46

Lista de ilustraciones

Sección V.A (i)

Figura 1: Esquema de flujo simplificado de una incineradora	3
Figura 2. Incineradora de desechos sólidos urbanos convencional	5
Figura 3. Esquema de un sistema de incinerador de horno rotatorio	7
Figura 4. Ejemplo de incineradora de soleras múltiples para lodos de alcantarillado	9

Sección V.A (ii)

Figura 1. Separación y alternativas de tratamiento para desechos médicos	35
Figura 2. Diagrama simplificado del funcionamiento de un incinerador	40

V.A Incineradoras de desechos

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

Resumen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Introducción

En el Convenio de Estocolmo se señala a las incineradoras de desechos como industrias con un potencial de formación y liberación relativamente alta de sustancias del Anexo C. Asimismo, la coincineración de desechos puede ser una fuente de emisiones de estas sustancias.

La presente sección se refiere sólo a la incineración exclusiva de desechos y no a otras circunstancias en que los desechos se someten a tratamiento térmico, por ejemplo, los procesos de coincineración que se dan en los hornos de cemento y las grandes plantas de combustión, que son objeto de análisis en las secciones respectivas.

Al considerar propuestas para construir nuevas plantas de eliminación de desechos, el Convenio de Estocolmo aconseja a las Partes considerar como prioridad:

- Alternativas como las actividades que disminuyen la generación de desechos urbanos, en particular la recuperación de recursos, reutilización, reciclaje, separación de desechos y promoción de productos que generen menos desechos, al considerar propuestas para construir nuevas plantas de eliminación de desechos (Convenio de Estocolmo, Anexo C, Parte V, sección A, inciso (f)).
- Métodos que evitarán la formación y liberación de las sustancias del Anexo C.

Las consideraciones sobre la gestión de desechos, descritas en la sección III.C (ii) de estas directrices, y los métodos alternativos sugeridos en el apartado 6, pueden tomarse en cuenta como parte de las estrategias generales para prevención y control de desechos.

2. Descripción del proceso

La incineración se utiliza como forma de tratamiento para una gran variedad de desechos. Por lo general, la incineración en sí es sólo una parte de un complejo sistema de tratamiento de desechos que, en conjunto, se encarga de la gestión total de la gran variedad de desechos que genera la sociedad (para un análisis de asuntos transectoriales relativos a la incineración y gestión de desechos véase la sección III.C de estas directrices).

El objetivo de la incineración de desechos es tratarlos para reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y, por lo tanto, concentrando) o destruyendo al mismo tiempo sustancias potencialmente nocivas que se liberen, o puedan liberar, durante la incineración. Los procesos de incineración también pueden constituir una forma de recuperar el contenido energético, mineral o químico de los desechos.

Los incineradores están provistos de hornos de distintos tipos y tamaños, y ofrecen distintas combinaciones de tratamiento pre y postcombustión. Además, hay bastante coincidencia entre los modelos recomendados para la incineración de desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos o de lodos de alcantarillado.

Normalmente, las incineradoras están diseñadas para combustión oxidativa completa a temperaturas de 850 °C a 1400 °C. A estas temperaturas pueden darse también calcinaciones y fundiciones. La gasificación y la pirólisis constituyen alternativas de tratamiento térmico que limitan la cantidad de aire de combustión primaria para convertir los desechos en gas de proceso, que puede utilizarse como materia prima química o puede incinerarse para recuperar energía. No obstante, en comparación con la incineración, la aplicación de estos sistemas es escasa y en algunas plantas se han registrado dificultades de funcionamiento.

Las plantas incineradoras de desechos pueden caracterizarse por los siguientes procesos: recepción de desechos, almacenamiento, pretratamiento, incineración/recuperación de energía, depuración de gases de combustión, gestión de residuos sólidos, y tratamiento de aguas residuales. La forma de concebir y operar cada componente depende en gran medida de la naturaleza de los desechos.

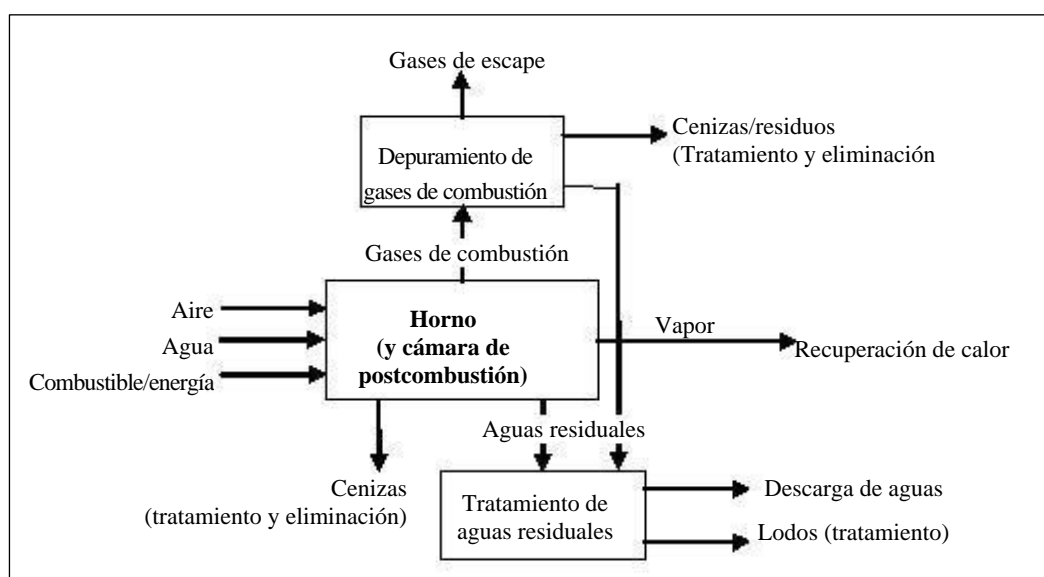
Por lo general, los desechos son materiales muy heterogéneos, compuestos sobre todo de sustancias orgánicas, minerales, metales y agua. Durante la incineración se generan gases de combustión que contendrán la mayor parte de la energía combustible en forma de calor.

En la incineración oxidativa completa, los componentes principales del gas de combustión son vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno. Según sea la composición del material incinerado, las condiciones de funcionamiento y el sistema de depuración de gases de combustión instalado, se emiten gases ácidos (óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cloruro de hidrógeno), partículas (incluidos metales particulados), y una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles (como mercurio). Asimismo, se ha demostrado que la incineración de desechos sólidos urbanos y desechos peligrosos genera y libera involuntariamente contaminantes orgánicos persistentes (PCDD/PCDF, PCB, HCB); además, tiene el potencial de liberar dibenzoparadioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos polibromados (PBDF). Es normal que en plantas que tengan deficiencias de diseño u operación estas formaciones se eleven sustancialmente.

Según las temperaturas de combustión durante las etapas principales de la incineración, los metales volátiles y los compuestos inorgánicos (ej., sales) se evaporan total o parcialmente. Estas sustancias se transfieren desde los desechos que ingresan hasta los gases de combustión y las cenizas volantes que contiene. Se generan cenizas volantes de los residuos minerales (polvo) y cenizas sólidas más pesadas (cenizas de fondo). Las proporciones de residuos sólidos varían mucho según sea el tipo de desecho y el diseño específico del proceso.

Otras emisiones son residuos provenientes del tratamiento y depuración de gases de combustión, tortas de filtro del tratamiento de aguas residuales, sales y liberación de sustancias en aguas residuales.

Figura 1: Esquema de flujo simplificado de una incineradora



2.1 Incineración de desechos sólidos urbanos

A pesar de que en muchas áreas el vertido de los desechos sin reciclar sigue siendo el método más común para eliminar los desechos sólidos urbanos, la incineración y el posterior vertido de residuos se ha vuelto una práctica habitual en muchos países desarrollados e industrializados. (Para un análisis de jerarquía de la gestión de desechos véase la sección III.C (ii)).

La Directiva del Consejo Europeo sobre el vertido de desechos (1999/31/EC) dispone que los Estados Miembro deben establecer una estrategia nacional para disminuir los desechos biodegradables que

llegan a los rellenos sanitarios. Esta estrategia debería prever medidas, en particular, respecto a reciclaje, compostaje, producción de biogás y recuperación de material o energía, para alcanzar las metas.

La incineración de los desechos sólidos urbanos suele venir acompañada de la recuperación de parte de la energía (“energía de desechos”) en forma de vapor y/o generación de electricidad. Además, las incineradoras pueden diseñarse de forma que puedan admitir formas procesadas de combustibles derivados de desechos sólidos urbanos, así como para la co-combustión de combustibles fósiles. El tamaño de las incineradoras de desechos urbanos va desde unidades pequeñas que procesan partidas únicas de unas pocas toneladas al día hasta unidades de gran tamaño, con capacidad de alimentación diaria continua de más de mil toneladas. Los costos de inversión de estas plantas capaces de satisfacer criterios que pueden considerarse mejores técnicas disponibles suelen ser de millones hasta cientos de millones de dólares estadounidenses.

Las ventajas principales de la incineración de desechos sólidos urbanos son la destrucción de los materiales orgánicos (incluso tóxicos), la reducción del volumen de desechos y la concentración de contaminantes (ej., metales pesados) a cantidades relativamente pequeñas de cenizas, creando así sumideros sin riesgo si se eliminan en forma adecuada. La energía recuperada puede constituir una importante ventaja adicional.

Las grandes incineradoras de desechos urbanos son importantes plantas industriales, con el potencial de convertirse en fuentes significativas de contaminación ambiental (véase sección 2).

2.1.1 Consideraciones sobre el funcionamiento de incineradoras de desechos sólidos urbanos

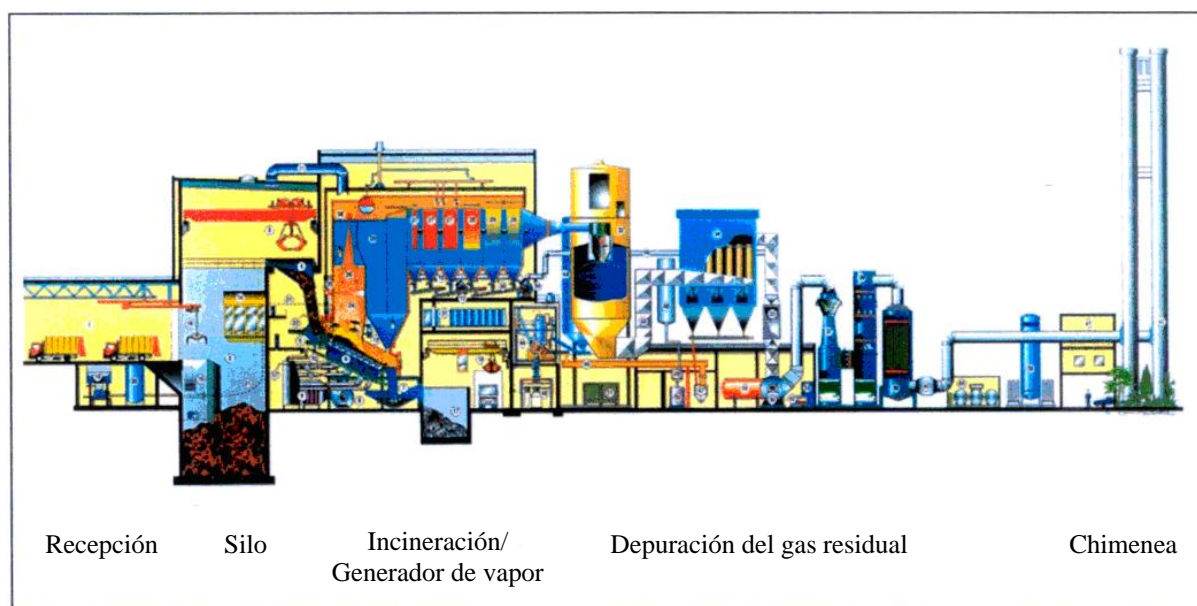
En muchas incineradoras de desechos sólidos urbanos también se incineran otras fracciones de desechos, como desechos voluminosos (ej., provenientes de plantas de separación de residuos), lodos de alcantarillado o la fracción altamente calorífica del pretratamiento de los desechos (ej., de plantas de trituración). Estos desechos deben ser evaluados cuidadosamente antes de la incineración para verificar si la planta de incineración de desechos (incluidos el tratamiento de gases de combustión y el tratamiento de aguas residuales y residuos) está preparada para tratar estos tipos de desechos y si puede hacerlo sin riesgo de perjudicar la salud humana o el medio ambiente. Algunos parámetros importantes son el contenido de cloro y bromo, contenido de aluminio, de metales pesados, contenido calorífico y comportamiento de combustión. Las altas concentraciones de bromo pueden generar compuestos bromados como las dibenzoparadioxinas polibromadas (PBDD) y los dibenzofuranos polibromados (PBDF). Desestimar los límites de la planta incineradora puede causar problemas operacionales (ej., cierres reiterados para poder limpiar la chimenea o los intercambiadores de calor) o resultados ambientales deficientes (ej., altas emisiones en agua, alta lixiviabilidad de cenizas volantes).

La Figura 2 muestra la organización típica de una incineradora de desechos sólidos urbanos de gran tamaño.

2.1.2 Recepción, almacenamiento y pretratamiento de desechos sólidos urbanos

Los desechos pueden llegar a la incineradora en camiones, barcazas o por tren. El reciclaje o los programas de separación de desechos previos a la entrega pueden influir enormemente en la eficacia del procesamiento. Eliminar vidrios y metales antes de la incineración aumentará el valor energético por unidad de desecho. No obstante, en algunas plantas se separan los metales de las cenizas de fondo después de la incineración. Reciclar papel, cartón y plástico reducirá el valor energético de los desechos pero también puede reducir el cloro que contienen. Separar los desechos voluminosos evita tener que eliminarlos o triturarlos en la planta.

Además de la separación de desechos, el pretratamiento de desechos sólidos urbanos en bruto puede implicar la compactación y trituración para facilitar la manipulación y lograr más homogeneidad. Las áreas de silos suelen estar cubiertas para protegerlas de la humedad exterior y es habitual que la planta esté diseñada de forma que se haga pasar el aire de combustión a través del silo para reducir olores.

Figura 2. Incineradora de desechos sólidos urbanos convencional

Fuente: European Commission 2006

2.1.3 Tipos de incineradoras de desechos sólidos urbanos

Hay distintos sistemas de combustión para incinerar desechos sólidos urbanos, como el sistema de parrilla móvil, de hornos rotatorios y de lechos fluidizados. En Estados Unidos y Asia se usan también incineradores modulares, que queman los desechos sin procesarlos previamente. La tecnología de lecho fluidizado requiere que las partículas de desechos sean de determinado tamaño, lo que suele exigir cierto pretratamiento y una recolecta selectiva de los desechos. Las capacidades típicas de combustión de los incineradores de desechos sólidos urbanos son de 90 a 2.700 toneladas por día (configuraciones modulares: de 4 a 270 toneladas al día).

Se han desarrollado procesos por desacoplamiento de las etapas que también se llevan a cabo en una incineradora: secado, volatilización, pirólisis, carbonización y oxidación de los desechos. También se aplica la gasificación con agentes gasificantes como vapor, aire, óxidos de carbono u oxígeno. Estos procesos apuntan a disminuir los volúmenes de gases de combustión y los correspondientes costos de tratamiento. Muchas de estas innovaciones han presentado problemas técnicos y económicos al trasladarse al nivel comercial e industrial y, por lo tanto, no han tenido continuidad. Algunos sistemas se usan comercialmente (ej., en Japón) y otros se están evaluando en plantas de demostración por toda Europa, pero aun así, sólo representan una pequeña parte de la capacidad total de tratamiento en comparación con la incineración.

2.2 Incineración de desechos peligrosos

La incineración y otras formas de tratamiento térmico también constituyen opciones de tratamiento de desechos peligrosos. Este tipo de desechos se distingue de otros porque figura en reglamentaciones y normativas sobre desechos o porque tiene propiedades peligrosas. Por ejemplo, en los Estados Unidos, un desecho puede considerarse peligroso si se demuestra que es inflamable, corrosivo, reactivo o tóxico. Las mezclas de desechos peligrosos con otros desechos también pueden considerarse peligrosas.

Debido al gran peligro potencial de trabajar con estos desechos y a la incerteza que se suele asociar con su composición, se requieren procedimientos especiales para su transporte, manipulación, almacenamiento y control. También puede ser necesario aplicar métodos especiales de manejo para cualquier residuo que quede después del tratamiento.

La tecnología de combustión más común en la incineración de desechos peligrosos es el horno rotatorio. Las plantas en el sector comercial pueden procesar de 82 a 270 toneladas de desechos por día (European Commission 2006). Ciertos desechos peligrosos, en particular los solventes usados se queman también como combustible en hornos de cemento. Esta aplicación se aborda en la sección V.B de las presentes directrices.

Al igual que la incineración de desechos sólidos urbanos, la incineración de desechos peligrosos ofrece la ventaja de destruir los materiales orgánicos (incluidos los tóxicos), reducir el volumen y concentrar los contaminantes en cantidades relativamente pequeñas de cenizas y, con menos frecuencia, la de recuperar energía.

Las incineradoras de desechos peligrosos tienen el potencial de constituir fuentes importantes de contaminación ambiental (véase sección 2).

Los desechos peligrosos se incineran normalmente en dos tipos de plantas:

- Plantas comerciales, que proporcionan a las empresas servicios de tratamiento de desechos *ex situ*. Estas incineradoras reciben toda una variedad de flujos de desechos y pueden competir internacionalmente.¹
- Las incineradoras de desechos peligrosos exclusivas o de uso interno, por lo general instaladas en grandes plantas industriales, que procesan los flujos de desechos generados en la planta misma, por ejemplo una incineradora de una planta de elaboración de productos químicos que trata desechos clorados para recuperar cloruro de hidrógeno (HCl).

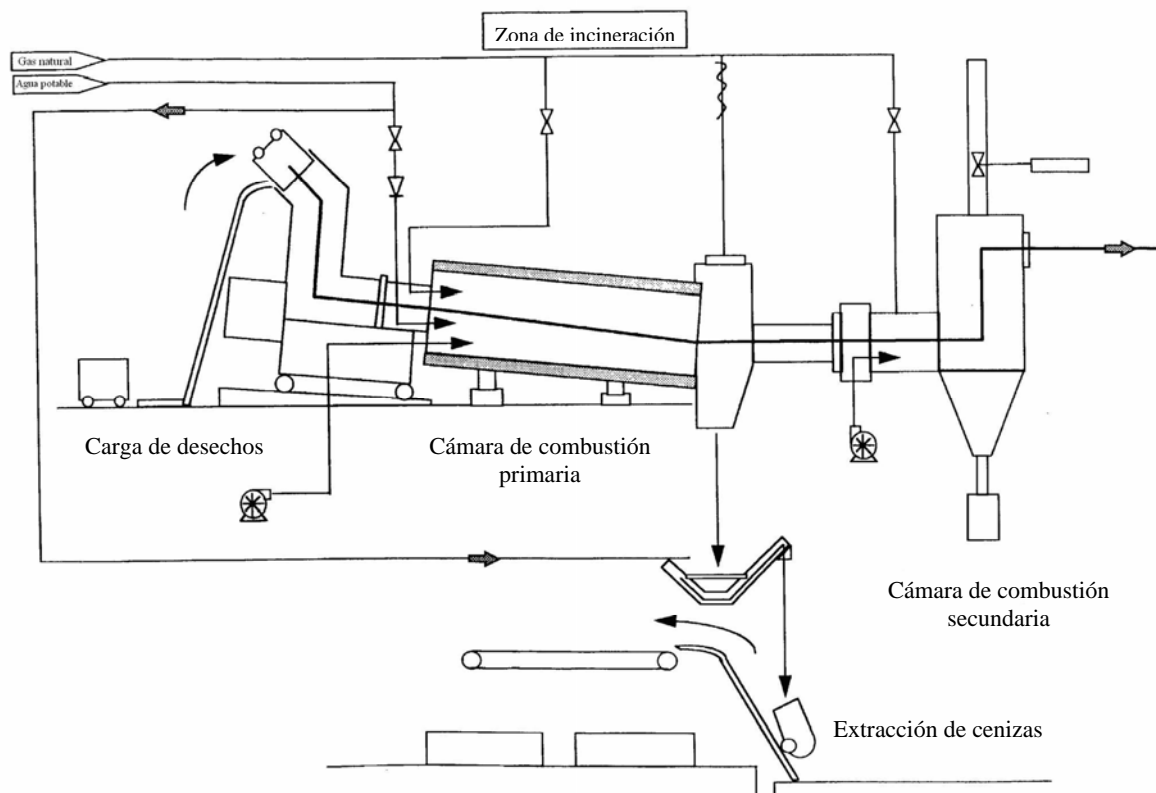
Los residuos sólidos provenientes de incineradoras de desechos peligrosos son similares a los de incineradoras de desechos sólidos urbanos salvo por la escoria, que se genera en los hornos rotatorios.

2.2.1 Diseño y operación de incineradoras de desechos peligrosos

En las incineradoras de desechos peligrosos se utilizan más comúnmente los hornos rotatorios (Figura 3), pero las incineradoras de parrilla (incluida la co-combustión con otros desechos) también se emplean de vez en cuando para desechos sólidos, y las incineradoras de lecho fluidizado para algunos materiales pretratados. Los hornos estáticos también tienen un uso generalizado en plantas de productos químicos.

¹ Ver en particular las disposiciones del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación en lo referente al transporte de desechos peligrosos.

Figura 3. Esquema de un sistema de incinerador de horno rotatorio



Debido a la peligrosa (y a menudo incierta) composición del flujo de desechos entrante, los criterios de aceptación, almacenamiento, manipulación y pretratamiento tienen más importancia que en el caso de los desechos sólidos urbanos. Pueden requerirse combustibles auxiliares en el caso de desechos de escaso valor energético.

En los hornos rotatorios, los desechos sólidos y lodos se descargan, sea por bombeo o por medio de contenedores, en la parte superior del tambor inclinado. Las temperaturas normales en el horno van de 850 °C (500 °C cuando se utiliza como gasificador) a 1450 °C (cuando se utiliza como horno de alta temperatura para fusión de cenizas). La rotación lenta del tambor permite un tiempo de residencia de 30 a 90 minutos. Las temperaturas entre 850 °C y 1000 °C pueden considerarse apropiadas para destruir desechos peligrosos no halogenados, mientras que las temperaturas entre 1100 °C y 1200 °C se consideran apropiadas para disolver compuestos halogenados, es decir, PCDD/PCDF, PCB y HCB.

La cámara de combustión secundaria que sigue al horno permite la oxidación de los gases de combustión. Se pueden inyectar desechos líquidos o combustibles auxiliares en esta cámara junto con aire secundario para mantener un tiempo de residencia mínimo de 2 segundos y temperaturas entre 850 °C y 1100 °C, disolviendo efectivamente la mayor parte de los compuestos orgánicos restantes (las disposiciones relativas a las condiciones de combustión se prescriben, por ejemplo, en la Directiva 2000/76/EC de la Unión Europea sobre incineración de desechos).

Los desechos peligrosos también se incineran en hornos de cemento; esta aplicación se analiza en la sección V.B de las presentes directrices.

2.2.2 Ingreso, almacenamiento y pretratamiento de desechos peligrosos

Antes de admitir desechos peligrosos a tratamiento, las incineradoras comerciales deben evaluar y caracterizar el material. Se solicita siempre documentación al productor, en particular sobre el origen de los desechos, su código u otra clasificación, identificación de los responsables y presencia de materiales peligrosos específicos. Además, los desechos deben venir debidamente embalados para evitar la posibilidad de reacciones y emisiones durante el transporte.

El almacenamiento en la planta incineradora dependerá de la naturaleza y las propiedades físicas de los desechos. Los desechos peligrosos sólidos se depositan habitualmente en silos construidos para prevenir fugas a cualquier medio, y encerrados a fin de poder sacar el aire de su interior para el proceso de combustión. Los desechos líquidos se almacenan en un área de depósitos, con frecuencia en una atmósfera de gas inerte (N_2 , por ejemplo), y se transportan al incinerador por medio de ductos. Algunos desechos pueden ingresar directamente al incinerador en los mismos contenedores de transporte. Las bombas, ductos y demás equipo que pueda estar en contacto con los desechos deben estar contruidos a prueba de corrosión y ser de fácil acceso para permitir la limpieza y los muestreos.

Las operaciones de pretratamiento pueden ser de neutralización, drenaje o solidificación de los desechos. También pueden usarse trituradoras y mezcladoras mecánicas para procesar contenedores o mezclar desechos a fin de hacer más eficiente la combustión.

2.3 Incineración de lodos de alcantarillado

Los lodos de alcantarillado doméstico se eliminan de diversas maneras, entre ellas por aplicación en tierras de cultivo después del pretratamiento, eliminación en superficie (ej., paisajismo), incineración, co-eliminación con desechos sólidos urbanos y coincineración. La incineración de lodos de alcantarillado se practica en varios países, sea por sí sola o por coincineración en incineradoras de desechos sólidos urbanos o en otras plantas de combustión (ej., centrales termoeléctricas a base de carbón, hornos de cemento). La eliminación eficaz de lodos de alcantarillado con este proceso depende de diversos factores, por ejemplo, de si los lodos están mezclados con flujos de desechos industriales (que pueden aumentar las cargas de metales pesados), de su ubicación (posibilidad de intrusión de agua salada en zonas costeras), de si se realiza o no pretratamiento, y del clima (disolución por lluvia) (European Commission 2006).

La incineración de lodos de alcantarillado difiere en algunos aspectos de la incineración de desechos sólidos urbanos y desechos peligrosos. La variabilidad en el contenido de humedad, el valor energético, y la posible mezcla con otros desechos (ej., desechos industriales cuando hay interconexión con los sistemas de alcantarillado) requieren consideraciones especiales en cuanto a manipulación y pretratamiento.

El pretratamiento, en especial la deshidratación y el secado, es de particular importancia en la preparación del lodo para la incineración. El secado reduce el volumen de lodo y aumenta la energía calorífica del producto. Normalmente se requiere eliminar la humedad para lograr, por lo menos, 35 % de sólidos secos a fin de proporcionar la energía calorífica necesaria para la incineración autotérmica. Puede necesitarse un secado posterior si se prevé la coincineración con desechos sólidos urbanos.

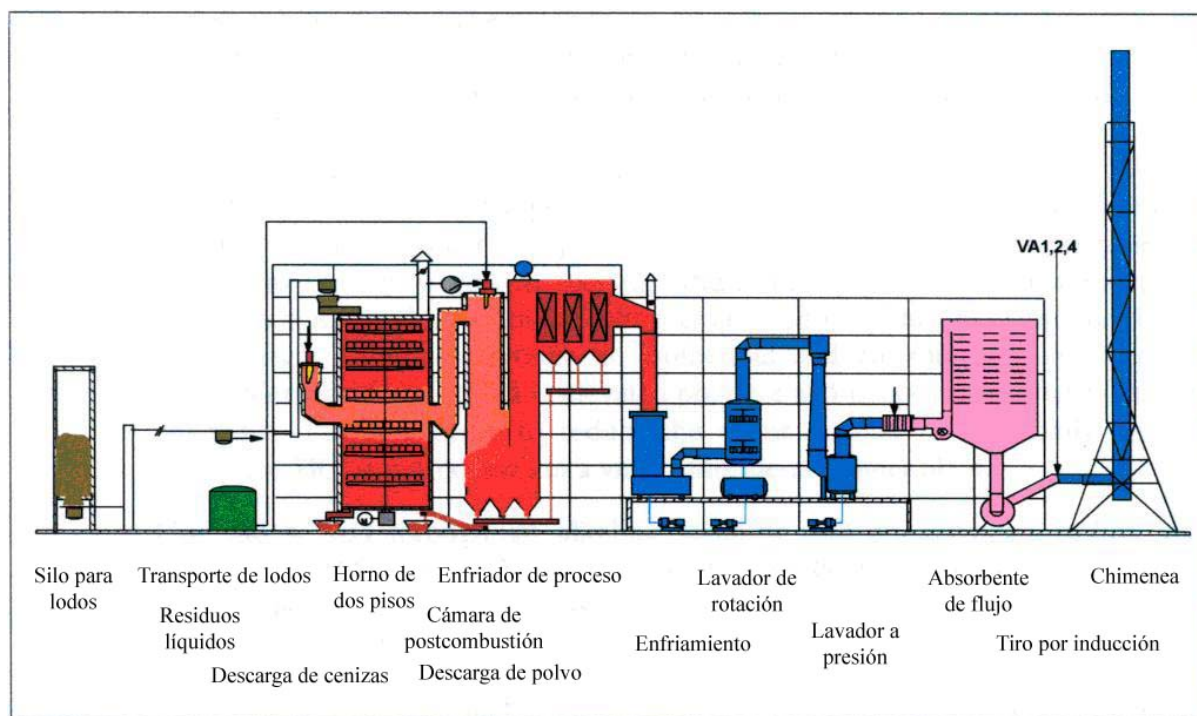
Al igual que en las incineradoras de desechos sólidos urbanos y de desechos peligrosos, los contaminantes y sustancias del Anexo C y sus compuestos precursores se encuentran en los flujos de ingreso a las incineradoras de lodos de alcantarillado y, como consecuencia, estas sustancias se han formado y liberado al aire, agua y residuos/desechos (véase sección 2). Los residuos sólidos producto de la incineración de lodos de alcantarillado se componen principalmente de cenizas volantes y de lecho (de la incineración de lecho fluidizado) y residuos del tratamiento de gases de combustión (véase la descripción de la incineración de desechos sólidos urbanos).

2.3.1 Diseño y funcionamiento de incineradoras de lodos de alcantarillado

Una incineradora convencional de lodos de alcantarillado puede procesar hasta 80,000 toneladas de lodos de alcantarillado (con 35% de sólidos secos) al año. Las tecnologías de incineración preferidas

para este tipo de desechos son las de soleras múltiples (Figura 4) y los sistemas de hornos de lecho fluidizado, aunque también se usan hornos rotatorios en aplicaciones de menor escala.

Figura 4. Ejemplo de incineradora de soleras múltiples para lodos de alcantarillado



Fuente: European Commission 2006

Según el porcentaje de sólidos secos (sequedad), se aplica un combustible auxiliar, por lo general aceite combustible o gas natural. Las temperaturas de operación preferidas son de 850 °C a 950 °C con un tiempo de residencia de 2 segundos, aunque algunas instalaciones de lecho fluidizado pueden funcionar a temperaturas inferiores, hasta de 820 °C, sin pérdida de rendimiento. Operar a 980 °C o por encima de esta temperatura puede causar la fusión de las cenizas (European Commission 2006).

Los lodos de alcantarillado se co-incineran con desechos sólidos urbanos en incineradoras de lecho fluidizado e incineradoras de desechos en bruto (en parrillas). En este último caso, es habitual una razón de 1:3 (lodo a desechos), los lodos secos se introducen en la cámara de incineración como lodo pulverizado o drenado que se deposita en la parrilla por medio de rociadores. En algunos casos, los lodos drenados o secados pueden mezclarse con desechos sólidos urbanos en el silo o la tolva antes de ser cargados al incinerador. Los métodos de alimentación constituyen una parte importante de la inversión de capital adicional que se necesita para la co-incineración.

2.3.2 Pretratamiento de lodos de alcantarillado

Los lodos pueden someterse a cierto pretratamiento antes de entrar a la planta incineradora, lo que puede implicar cribado, digestión anaeróbica y aeróbica, y adición de productos químicos para tratamiento.

La deshidratación física disminuye el volumen de lodo y aumenta su poder calorífico. Los procesos de deshidratación mecánica utilizan decantadores, centrífugas, prensas de filtro de banda y de cámara. Los acondicionadores (por ejemplo, agentes floculantes) se suelen añadir antes de la deshidratación para facilitar el drenaje. Con deshidratación mecánica se suelen obtener de 20% a 35% de sólidos secos (European Commission 2006).

El proceso de secado introduce calor para deshidratar y acondicionar más los lodos. El calor para el secado en la planta incineradora suele provenir del mismo proceso de incineración. Los procesos de

secado pueden ser directos (los lodos entran en contacto con el portador térmico) o indirectos (por ejemplo, el calor proviene de una instalación generadora de vapor). En el secado directo el vapor y la mezcla de gases deben depurarse posteriormente.

La incineración autotérmica (autocombustible) de lodos exige un 35% de sólidos secos. Aunque la deshidratación mecánica puede alcanzar este umbral, puede utilizarse un secado adicional del lodo para llegar hasta 80 - 95% de sólidos secos y así aumentar el poder calorífico. La coincineración con desechos sólidos urbanos requiere, por lo general, un secado adicional del lodo.

3. Fuentes de formación de las sustancias que figuran en el Anexo C

En cuanto a los mecanismos de formación de las sustancias del Anexo C del Convenio de Estocolmo, véase la sección III.C (i) de estas directrices.

Las sustancias del Anexo C son liberadas al aire, al agua (cuando se instalan sistemas para depuración de gases de combustión húmedos o cuando los residuos son lavados con líquidos para eliminar algunas sustancias tóxicas) y por medio de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos provenientes de la incineración de desechos sólidos urbanos corresponden principalmente a cenizas de fondo, de calderas y cenizas volantes. Los residuos sólidos de incineradoras de desechos peligrosos son parecidos a los de incineradoras de desechos sólidos urbanos a excepción de la escoria generada por la incineración en horno rotatorio. Los residuos sólidos provenientes de la incineración de lodos de alcantarillado son principalmente cenizas volantes y de lecho (de la incineración de lechos fluidizados), y residuos del tratamiento del gas de combustión (véase la descripción de la incineración de desechos sólidos urbanos).

Además, se generan residuos del tratamiento de gases de combustión con características distintas según los sistemas instalados (seco, semi seco, húmedo). Cuando se utilizan sistemas húmedos, también se acumularán tortas de filtro y yeso del tratamiento de aguas residuales. Asimismo, se deben tomar en cuenta los residuos provenientes del filtrado del aire.

Las alternativas para el tratamiento de residuos derivados de la depuración del aire dependen del adsorbente utilizado (carbón activado, coque, cal, bicarbonato de sodio, zeolita). A veces se permite que los residuos de carbón (activado) de reactores de lechos fijos se incineren en la misma planta incineradora de desechos, si se cumplen ciertas condiciones para el proceso. Los residuos de sistemas de lecho de arrastre también pueden incinerarse si el adsorbente aplicado es sólo carbón activado o coque de horno. Si se utiliza una combinación de carbón activado y otros reactivos, el residuo se envía, por lo general, a tratamiento externo o eliminación, por los riesgos de corrosión.

En muchos países las fracciones de desechos generadas por plantas incineradoras de desechos se clasifican como desechos peligrosos, a excepción del yeso proveniente de la desulfuración de gases de combustión y de la chatarra de metales ferrosos y no ferrosos. A modo de ejemplo, la ley austriaca dispone que cuando exceden el límite de PCDD/PCDF (100 ng EQT-I/kg) los desechos se deben eliminar en condiciones de seguridad ambiental, lo que implica, en la mayoría de los casos, expedición (después del pretratamiento) a rellenos sanitarios especialmente preparados, o almacenamiento subterráneo. Además, según la ley austriaca, debe evitarse la formación y dispersión de polvo proveniente de estos desechos durante el transporte y el almacenamiento intermedio (Directiva sobre incineración de desechos de Austria, Boletín de Derecho Federal No. II 389/2002).

La Tabla 1 ilustra las masas relativas de residuos sólidos de una incineradora de desechos sólidos urbanos ordinaria.

Tabla 1. Desechos y residuos sólidos de la incineración de desechos sólidos urbanos

Tipos de desechos	Masa específica, seca (kg/t de desechos)
Escoria/cenizas (incluidos desperdicios de cribado de parrillas)	200–350
Polvo de caldera y de procesos de eliminación de polvo	20–40
Residuos de la depuración de gases de combustión sin filtro de polvo:	
Absorción en húmedo ^a	8–15
Absorción en semiseco	15–35
Absorción en seco	7–45
Residuos de la depuración de gases de combustión y de filtros de polvo:	
Absorción en húmedo ^a	30–50
Absorción en semiseco	40–65
Absorción en seco	32–80
Carga de carbón activado	0.5–1

a. Los residuos de la absorción en húmedo tienen una sequedad específica (ej., 40–50% de sólidos secos) (74, TWG Comments, 2004).

Fuente: Umweltbundesamt Deutschland 2001

En la Tabla 2 figuran las concentraciones habituales de compuestos orgánicos en cenizas de plantas de incineración de desechos modernas.

Tabla 2. Escalas de concentración de compuestos orgánicos en cenizas de plantas modernas

Parámetro	Cenizas de fondo (ng/kg)	Cenizas de caldera (ng/kg)	Cenizas volantes (ng/kg)
PCDD/PCDF (EQT-I)	< 1–10	20–500	200–10,000
PCB	< 0.005–0.05	0.004–0.05	10,000–250,000
PCBz ^a	< 0.002–0.05	200,000–1,000,000	100,000–4,000,000
PCPh ^b	< 0.002–0.05	20,000–500,000	50,000–10,000,000
PAH ^c	< 0.005–0.01	10,000–300,000	50,000–2,000,000

a. PCBz: bencenos policlorados.

b. PCPh: fenoles policlorados.

c. PAH: hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Fuente: European Commission 2006

Las emisiones atmosféricas de las plantas incineradoras de desechos dependen en gran medida de las condiciones de combustión y del diseño y las condiciones de funcionamiento de los sistemas de tratamiento para gases de combustión. Las emisiones de PCDD/PCDF provenientes de las plantas incineradoras de desechos más modernas que aplican mejores técnicas disponibles se encuentran en un rango de 0.0008–0.05 ng EQT-I/Nm³; (véase Stubenvoll, Böhmer *et al.* 2002). No obstante, las emisiones pueden ser superiores a 150 ng EQT-I/Nm³ en plantas mal diseñadas y operadas.

Las emisiones de PCDD/PCDF en agua sólo se dan cuando se aplican sistemas húmedos al tratamiento de gases de combustión. Las plantas de tratamiento de aguas residuales modernas prevén etapas como la neutralización, precipitación, floculación y filtros de coque activado para eliminar las sustancias orgánicas. Por lo general, las emisiones de estas plantas van de 0.01 a 0.3 ng EQT-I/l (ej., en la Directiva de Incineración de desechos del Consejo Europeo se establece un límite de emisión (ELV) de 0.3 ng EQT-I/l).

Los registros de las concentraciones habituales de PCDD/PCDF encontrados en los mismos desechos indican valores en el rango de 50–250 ng EQT-I/kg para desechos sólidos urbanos, de un máximo de 10,000 ng EQT-I/kg para desechos peligrosos, y de 8.5–73 ng EQT-I/kg para lodos de alcantarillado (European Commission 2006).

En la Tabla 3 figura un cálculo de liberaciones de PCDD/PCDF (EQT-I) en distintos medios a partir de parámetros típicos de incineradoras de desechos sólidos urbanos diseñadas y operadas según mejores técnicas disponibles (para los parámetros, véase Stubenvoll, Böhmer *et al.* 2002 y European Commission 2006).

Tabla 3. Cálculo de liberaciones de PCDD/PCDF de incineradoras de desechos urbanos en diferentes medios

Medio	Acumulación por tonelada de desechos tratados		Concentración promedio		Liberación específica (µg EQT-I /t de desechos)
	Unidad	Unidad	Unidad	Unidad	
Cenizas de fondo	220	kg	46	ng EQT-I/kg	10.12
Cenizas volantes	20	kg	2,950	ng EQT-I/kg	59
Tortas de filtro	1	kg	4,000	ng EQT-I/kg	4
Aguas residuales	450	l	0.3	ng EQT-I/l	0.135
Aire	5,000	Nm ³	0.02	ng EQT-I/Nm ³	0.1
Liberación total					73.355

Fuente: Stubenvoll, Böhmer *et al.* 2002, y European Commission 2006

A partir de los datos presentados en la Tabla 3 queda claro que se liberan dioxinas y furanos principalmente de la incineración de desechos sólidos. En la mayoría de los países las tortas de filtro (ej., del almacenamiento subterráneo) y las cenizas volantes tienen que eliminarse en rellenos sanitarios exclusivos (a veces después de pretratamiento), mientras que las cenizas de fondo son utilizadas en algunos países (ej., para la construcción de carreteras), por lo general después de pretratamiento.

A condición de que el contenido total y la tasa de lixiviación de contaminantes orgánicos persistentes provenientes de cenizas y otros desechos de la incineración de desechos sean bajos (lo que puede lograrse por ejemplo, mediante pretratamiento), los rellenos sanitarios preparados especialmente — si están diseñados y operados según las mejores técnicas disponibles— pueden considerarse sumideros finales para las sustancias peligrosas, de forma que se reduce mucho el riesgo de liberación posterior y reexposición a estos químicos. En este caso las emisiones de plantas incineradoras de desechos modernas es muy baja.

4. Alternativas a la incineración de desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos y lodos de alcantarillado

En la sección III.C (ii) de esta guía se muestra un panorama general de las consideraciones en materia de gestión de desechos.

Además de instar a las Partes a dar prioridad a enfoques que promuevan el reciclaje y la recuperación de desechos y disminuyan la generación de desechos, el Convenio de Estocolmo subraya la importancia de considerar métodos alternativos de eliminación y tratamiento que puedan evitar la formación y liberación de las sustancias del Anexo C. A continuación se presentan ejemplos de esas alternativas, con inclusión de tecnologías incipientes.

Para los desechos urbanos, las alternativas posibles a la incineración son:

- Estrategias de gestión llamadas de cero desechos, destinadas a eliminar la generación de desechos mediante la aplicación de toda una serie de medidas, en particular instrumentos legislativos y económicos
- Disminución de desechos, separación en origen y reciclaje para reducir el volumen que requiera eliminación final
- Compostaje, que reduce el volumen de desechos por descomposición biológica
- Tratamiento biológico mecánico, que reduce el volumen de desechos usando medios mecánicos y biológicos, y genera residuos que requieren gestión posterior
- Fundición a alta temperatura, que utiliza medios térmicos para reducir el volumen de desechos y encapsula los residuos que requieren gestión posterior
- Rellenos sanitarios especialmente contruidos, que encierran y aíslan los desechos (además de capturar y quemar de manera efectiva el metano formado, sea con recuperación de energía sea, cuando menos, con quemador tipo antorcha, si el método anterior no es aplicable)

Para los desechos peligrosos, las alternativas posibles a la incineración son:

- Disminución de desechos y su separación en origen con eliminación final mediante otras técnicas o en rellenos sanitarios apropiados

Para los desechos de COP, las alternativas posibles a la incineración se exponen en las Directrices Técnicas de Basilea (Directrices Técnicas del Convenio de Basilea para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos; 2005)

- Reducción química en fase gaseosa
- Descomposición por catálisis básica
- Reducción del sodio
- Oxidación supercrítica en agua

Para los lodos de alcantarillado no contaminados, las alternativas posibles a la incineración son la eliminación en rellenos sanitarios o su esparcido en suelos, lo que evita la formación de las sustancias del Anexo C. Se ha observado, sin embargo, que cualquier contaminante orgánico persistente y otras sustancias peligrosas presentes en estos lodos pueden liberarse al medio ambiente con este último método. Para su aplicación en suelos, sería ideal que los lodos no contaminados se recolectaran en forma separada.

Se precisa más actividad en la comunidad internacional para evaluar y verificar tecnologías como las anteriores. También es preciso actuar más en la promoción de otras innovaciones en este importante campo.

5. Mejores prácticas ambientales para la incineración de desechos

Plantas bien mantenidas, operadores bien capacitados, una ciudadanía informada, y la constante atención en el proceso son todos factores que contribuyen a reducir la formación y liberación de las sustancias del Anexo C provenientes de la incineración de desechos. Además, las estrategias efectivas de gestión de desechos (por ejemplo, la disminución de los desechos, separación en origen y reciclaje), al cambiar el volumen y características de los desechos entrantes pueden, asimismo, tener un efecto significativo en las emisiones.

Se debería mencionar aquí que, por lo ambiguo de la definición de lo que constituyen mejores prácticas ambientales, se dan coincidencias entre las descripciones de mejores prácticas ambientales y mejores técnicas disponibles. Algunas prácticas que figuran en este apartado referente a mejores prácticas ambientales también pueden constituir requisitos para el funcionamiento de una planta que utilice mejores técnicas disponibles.

En este apartado se describen mejores prácticas ambientales para el funcionamiento de una incineradora de desechos. Las prácticas correspondientes que deberían aplicarse antes de que los desechos lleguen a la planta incineradora se describen en otras secciones de estas directrices (véase, por ejemplo, la sección III.C sobre consideraciones transectoriales).

5.1 Prácticas de gestión de desechos

Las consideraciones sobre gestión de desechos, descritas en la sección III.C (ii) de las presentes directrices, y los enfoques alternativos esbozados en el apartado 6, deben tomarse en consideración como parte de las estrategias generales para prevención y control de desechos.

5.1.1 Disminución de desechos

Reducir la masa total de los desechos que deben eliminarse por el método que sea sirve para reducir tanto las emisiones como los residuos de las incineradoras. Destinar los biodegradables al compostaje, así como las iniciativas para reducir la cantidad de materiales de embalaje que ingresan al flujo de desechos puede incidir enormemente en los volúmenes de los desechos. Al fin y al cabo, es poca la responsabilidad que le corresponde en la reducción de desechos al operador de una planta incineradora. No obstante, la coordinación y uniformización de las actividades pertinentes en los distintos niveles organizacionales (ej., operador, nivel local, regional o nacional) son de gran importancia para la protección de todo el medio ambiente.

5.1.2 Separación en origen y reciclaje

La clasificación y recolección Kerbside o centralizada de los materiales reciclables (por ejemplo, aluminio y otros metales, vidrio, papel, plásticos reciclables y desechos de construcción o demolición) también disminuye el volumen de desechos, ahorra valiosos recursos y elimina algunos incombustibles. La responsabilidad de estas actividades debe coordinarse entre los niveles correspondientes.

5.1.3 Inspección y clasificación de desechos

Es esencial tener buenos conocimientos de las características y atributos de los desechos entrantes. Las características de un flujo de desechos particular pueden variar significativamente de un país a otro y de una región a otra. En caso de que ciertos desechos o componentes de desechos sean considerados no-incinerables, debe haber procedimientos para detectar y separar estos materiales en el flujo de desechos o en los residuos. Se deben realizar revisiones, muestreos y análisis, muy en particular tratándose de desechos peligrosos. Es importante conservar y tener al día las declaraciones de carga y hacer seguimientos de control. La Tabla 4 ilustra algunas técnicas aplicables a distintos tipos de desechos.

Tabla 4. Ejemplos de técnicas de inspección

Tipo de desecho	Técnicas	Comentarios
Desechos urbanos mixtos	Inspección visual en el silo. Control aleatorio de las entregas por separación de descargas. Pesaje de desechos tal como se reciben. Detección de radioactividad.	Las cargas industriales y comerciales pueden implicar grandes riesgos.
Desechos urbanos pretratados y combustibles derivados de residuos	Inspección visual. Muestreo y análisis periódicos para detectar propiedades o sustancias importantes.	
Desechos peligrosos	Inspección visual. Muestreo/análisis de todos los camiones de carga a granel. Inspección aleatoria de la carga en tambores. Desembalaje y revisión de las cargas empaquetadas. Evaluación de los parámetros de combustión. Pruebas de mezclado de desechos líquidos antes del almacenamiento. Control del punto de ignición para los desechos en el silo. Análisis de desechos entrantes para determinar la composición elemental, por ejemplo mediante EDXRF ^a .	La extensión y efectividad de los procedimientos son de importancia particular para este sector. Las plantas que reciben flujos de un solo tipo pueden adoptar procedimientos más simples.
Lodos de alcantarillado	Muestreo y análisis periódico para detectar propiedades y sustancias importantes. Detección de piedras/metales antes de las etapas de secado. Control del proceso para adaptarlo a variaciones en los lodos.	

a. EDXRF: Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (espectrómetro)

Fuente: European Commission 2006

5.1.4 Extracción de incombustibles en la incineradora

La extracción de metales ferrosos y no ferrosos *in situ* es una práctica habitual en incineradoras de desechos sólidos urbanos.

5.1.5 Manipulación, almacenamiento y pretratamiento adecuados

Una manipulación adecuada, sobre todo de los desechos peligrosos, es indispensable. Se debería llevar a cabo una adecuada clasificación y separación para así lograr un procesamiento sin riesgos (Tabla 5).

Las áreas de almacenamiento deben estar debidamente selladas, contar con un drenaje controlado y estar protegidas contra la intemperie. También deberían preverse sistemas de detección y control de incendios para estas áreas, y que tengan la capacidad para guardar el agua que se contamina al extinguir incendios. Las áreas de almacenamiento y manejo deberían estar concebidas para evitar la contaminación del medio ambiente y para facilitar su saneamiento en caso de derrames o fugas. Se pueden disminuir los olores y la liberación de contaminantes orgánicos persistentes volátiles al medio ambiente usando el aire del silo para el proceso de combustión. En el caso de los lodos de alcantarillado, el pretratamiento debe garantizar un suficiente secado y acondicionamiento.

Tabla 5. Ejemplos de técnicas de separación

Tipo de desecho	Técnicas de separación
Desechos urbanos mezclados	La separación no se efectúa sistemáticamente a no ser que se reciben varios flujos de desechos distintos, que puedan mezclarse en el silo. Pueden separarse los desechos voluminosos que requieran pretratamiento. Establecer áreas de separación de emergencia para desechos rechazados.
Desechos urbanos pretratados y combustibles derivados de residuos	No se separan sistemáticamente. Establecer áreas de separación de emergencia para desechos rechazados.
Desechos peligrosos	Se precisan procedimientos exhaustivos para separar materiales químicamente incompatibles, por ejemplo: Agua de fosfuros Agua de isocianatos Agua de materiales alcalinos Cianuro de ácidos Materiales inflamables de agentes oxidantes Conservar separados los desechos preseparados que ingresan empaquetados
Lodos de alcantarillado	Por lo general, desechos bien mezclados antes de ingresar a la planta. Algunos flujos industriales pueden ingresar por separado y requieren segregación para mezclarlos.

Fuente: European Commission 2006

5.1.6 Reducción de periodos de almacenamiento

A pesar de que un suministro constante de desechos es importante para tener un funcionamiento continuo y unas condiciones estables de combustión en las grandes incineradoras de desechos sólidos urbanos, es improbable que los desechos almacenados mejoren con el tiempo. La disminución del periodo de almacenamiento ayudará a prevenir la putrefacción y otras reacciones no deseadas, así como el deterioro de recipientes y etiquetas. La gestión de las entregas y la comunicación con los proveedores ayudará a asegurarse de no exceder los periodos de almacenamiento razonables (ej., de cuatro a siete días para desechos sólidos urbanos).

5.1.7 Establecimiento de requisitos de calidad para las plantas alimentadas por desechos

Los operadores deben poder prever en forma precisa el poder calorífico y otros atributos de los desechos que se van a quemar para asegurarse de que se cumplan los parámetros de diseño del incinerador. Para ello pueden usarse los resultados de un programa de vigilancia de alimentación de contaminantes y parámetros clave en el que las frecuencias y rigor de los muestreos y análisis aumenten en función de la variabilidad en la alimentación.

5.1.8 Carga de desechos

Para las plantas que reciben desechos sólidos urbanos heterogéneos, es indispensable lograr una buena mezcla y cargar adecuadamente las tolvas de alimentación. Los operadores de grúas de carga deben ser experimentados y estar en condiciones de poder seleccionar la mezcla de tipos de desechos adecuada para mantener al incinerador funcionando con un rendimiento óptimo.

5.2 Prácticas de operación y gestión de incineradoras

5.2.1 Asegurar una buena combustión

Para poder prevenir la formación y captura de las sustancias del Anexo C, se precisa cuidar y controlar debidamente los parámetros de combustión y de escape. En las unidades de alimentación continua, la

sincronización de la introducción de desechos, el control de las condiciones de combustión, y la gestión postcombustión son consideraciones importantes (véase el apartado 6).

5.2.2 Evitar arranques en frío, alteraciones y suspensiones

Por lo general, estos eventos son característicos de una combustión deficiente y, por lo tanto, propician las condiciones para la formación de las sustancias del Anexo C. Para incineradores pequeños y modulares que operan por partidas, encender y apagar pueden ser cosa de todos los días. Precalentar el incinerador y realizar una co-combustión inicial con un combustible fósil puro permitirá llegar con más rapidez a las temperaturas de una combustión eficiente. Con todo, cuando sea posible, el funcionamiento continuo debería ser la práctica preferida. Independientemente del modo de operar, los desechos deberían introducirse en el sistema de combustión sólo cuando se haya alcanzado la temperatura requerida (ej., sobre 850 °C). Las inspecciones periódicas y el mantenimiento preventivo servirán para prevenir alteraciones. Los operadores de incineradoras no deberían introducir desechos cuando se opera sin pasar por los filtros (usando la chimenea de emergencia) o durante graves alteraciones en la combustión.

5.2.3 Inspecciones regulares de la planta y almacenamiento

Deberían realizarse inspecciones internas de rutina, así como inspecciones periódicas de parte de las autoridades competentes de los hornos y los aparatos de control de contaminación atmosférica para asegurar la integridad del sistema y el funcionamiento apropiado del incinerador y sus componentes.

5.2.4 Monitoreo

Favorece una combustión de alta eficiencia la creación de un sistema de vigilancia de los parámetros operativos principales, como el monóxido de carbono (CO), el índice de flujo volumétrico, la temperatura y el contenido de oxígeno. Un nivel de CO bajo se asocia con una mayor eficiencia de la combustión en el caso de la combustión de desechos sólidos urbanos. En general, si la concentración de CO por volumen es baja (por ejemplo, < 50 partes por millón o 30 mg/m³) en los gases de combustión de la chimenea, esto indica en general que se mantiene una combustión de gran eficiencia dentro de la cámara de combustión. Una buena eficiencia de combustión significa la disminución de la formación de PCDD/PCDF dentro del incinerador, por lo que conviene registrar la temperatura de combustión dentro de la cámara.

El monóxido de carbono, oxígeno del gas de combustión, partículas, cloruro de hidrógeno (HCl), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ácido fluorhídrico (HF), corrientes de aire y temperaturas, bajas de presión, y pH del gas de combustión, son todos ellos elementos que deberían ser monitoreados sistemáticamente. Estas mediciones reflejan las condiciones de la combustión y proporcionan un indicador general del potencial de formación y liberación de las sustancias del Anexo C. Una medición periódica o semi-continua (muestreo continuo y análisis periódico) de PCDD/PCDF en los gases de combustión puede ayudar al operador a asegurarse de que las liberaciones son mínimas y que el incinerador funciona adecuadamente.

En Japón, se han aprobado oficialmente métodos de medición simplificados mediante bioensayos para medir periódicamente las dioxinas de plantas incineradoras de desechos con capacidad de menos de dos toneladas por hora (véase también la sección III.C (vi)).

5.2.5 Manipulación de residuos

Las cenizas de fondo y cenizas volantes del incinerador deben ser manipuladas, transportadas y eliminadas de forma ambientalmente racional, lo que implica tratar las cenizas de fondo separadamente de las cenizas volantes y otros residuos provenientes del tratamiento de los gases de combustión a fin de evitar la contaminación de las cenizas de fondo y mejorar así su potencial de recuperación. El transporte protegido y los rellenos sanitarios exclusivos son una práctica común para manejar estos residuos.

Se requiere una evaluación del contenido y de la movilidad ambiental potencial de los metales pesados y de las sustancias del Anexo C, sobre todo si se prevé la reutilización de los residuos. Asimismo, deberían seguirse las directrices adoptadas por el Convenio de Basilea y, por consiguiente, las adoptadas por la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo. Un análisis periódico de las cenizas también puede servir de indicador del funcionamiento del incinerador o de la introducción de desechos no permitidos.

Los efluentes de la depuración, incluidas las tortas de filtro de la limpieza húmeda de gases de combustión, se consideran desechos peligrosos en muchos países y deben tratarse y eliminarse de manera ambientalmente racional (ej., estabilización previa a la eliminación en rellenos sanitarios construidos especialmente).

5.2.6 Capacitación de los operadores

Es indispensable capacitar con regularidad al personal para un buen funcionamiento de los incineradores de desechos. En los Estados Unidos, por ejemplo, la capacitación y certificación de los operadores está a cargo de la American Society of Mechanical Engineers (véase también la sección III.C (v) de estas directrices).

5.2.7 Sensibilización y comunicación permanentes

Saber generar y conservar la buena disposición de la sociedad ante un proyecto de incineración de desechos es esencial para el éxito de la empresa. En el marco de la planificación del proyecto, la difusión debería empezar lo antes posible. Es natural que las agrupaciones ciudadanas y de defensa de intereses públicos abriguen inquietudes acerca de su construcción y funcionamiento. Tratar el tema en forma transparente y sincera ayudará a prevenir información errónea y malentendidos.

He aquí algunas prácticas efectivas para sensibilizar a la ciudadanía y promover su participación: publicar avisos en periódicos con anticipación, distribuir información en los hogares del área, solicitar opiniones sobre el diseño y las opciones de operación, instalar carteles informativos en espacios públicos, mantener registros de la liberación y transferencia de contaminantes, y organizar reuniones públicas y foros de debate frecuentes.

Las autoridades y promotores de proyectos de incineración deberían acercarse a las entidades interesadas, como son los grupos de interés público, y realizar reuniones consultivas con personas interesadas, organizar visitas públicas, publicar en Internet datos sobre las emisiones y el funcionamiento, y exhibir en la planta misma datos en tiempo real sobre las operaciones y emisiones. Las entrevistas con la ciudadanía deben ser transparentes, significativas y francas para que sean efectivas.

6. Mejores técnicas disponibles para la incineración

Además de aplicar mejores prácticas ambientales a la incineración de desechos sólidos urbanos, existe toda una serie de técnicas comprobadas para la ingeniería de la combustión, la depuración de gases de combustión y la gestión de residuos para prevenir la formación o disminuir las liberaciones de las sustancias del Anexo C. Para un análisis detallado de lo que significan mejores técnicas disponibles para la incineración de desechos, remitimos al Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de desechos de la Comisión Europea I (European Commission 2006, versión en inglés).

También existen tecnologías alternativas nuevas que no son de incineración (véase sección III.C (ii) de estas directrices) y que pueden representar alternativas viables y ambientalmente racionales a la incineración. El objetivo de este apartado, no obstante, es determinar las mejores técnicas aplicables al proceso de incineración. Las mejores técnicas disponibles para la incineración implican el diseño, operación y mantenimiento de una planta incineradora de desechos que disminuya eficazmente la formación y liberación de las sustancias del Anexo C.

Al analizar las mejores técnicas disponibles que se describirán a continuación para la incineración de desechos, es importante considerar que la solución óptima para un tipo específico de planta

incineradora dependerá de las condiciones locales. Las mejores técnicas disponibles que aquí se exponen no deben considerarse como un listado en el que se indique la solución idónea, ya que para ello habría que analizar las condiciones locales con mucho detalle, cosa que no permiten estas directrices generales sobre mejores técnicas disponibles. Por consiguiente, limitarse a combinar algunos elementos que se describen como mejores técnicas disponibles en estas directrices sin considerar las condiciones locales puede que no sea la solución óptima en función del medio ambiente en su totalidad (European Commission 2006).

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

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

Como ejemplo ilustrativo de guía multimedia, Japón estableció en 1997 un objetivo futuro para la cantidad total de liberaciones de PCDD/PCDF de 5 µg EQT-I/tonelada de desecho, que no se refiere solamente al contenido de PCDD/PCDF en emisiones de gas sino también al contenido en cenizas volantes y de fondo (para comparaciones véase el apartado 3, Tabla 3 *supra*).

Es preciso mencionar que la mayor parte de las conclusiones sobre mejores técnicas disponibles que figuran en esta sección se tomaron del Documento sobre incineración de desechos de la Comisión Europea (European Commission 2006). Hay muchas plantas incineradoras de desechos en todo el mundo diseñadas y operadas conforme a la mayoría de los parámetros que definen a las mejores técnicas disponibles, y que registran los niveles de emisiones asociados a ellas.

6.1 Selección del sitio

A continuación se presentan algunos factores locales que deben tomarse en consideración para la incineración de desechos:

- Las circunstancias ambientales locales, por ejemplo, la calidad ambiental preexistente puede influir en el desempeño de la planta en cuanto a liberaciones, o en la disponibilidad de ciertos recursos.
- La naturaleza particular del desecho o desechos generados localmente y los efectos de la infraestructura para gestión de desechos sobre el tipo y naturaleza de los desechos que llegan a la planta.
- El costo y la factibilidad de aplicar una técnica particular considerando sus ventajas potenciales, lo que es de especial pertinencia cuando se analiza el desempeño de las plantas existentes.
- La disponibilidad, grado de utilización y costo de las opciones para recuperar y eliminar los residuos generados por la planta.
- La existencia de usuarios para la energía recuperada y el precio que se obtiene de ella.
- Los factores económicos, comerciales y políticos locales que puedan incidir en la tolerabilidad de alzas en las tarifas de recepción derivadas de la incorporación de ciertas alternativas tecnológicas.

6.2 Mejores técnicas disponibles para el ingreso y control de desechos

- Mantener el sitio en un estado de aseo y limpieza generales.
- Establecer y mantener controles de calidad para el ingreso de desechos, según las clases de desechos que puedan recibirse en la planta, lo que implica:

- Fijar las limitaciones del proceso de ingreso y determinar los riesgos principales
- Comunicarse con los proveedores de los desechos para mejorar el control de calidad de los desechos entrantes
- Controlar la calidad de la alimentación de los desechos *in situ*
- Revisar, muestrear y evaluar desechos entrantes
- Utilizar detectores de material radiactivo

6.3 Mejores técnicas disponibles para la combustión

Las condiciones de combustión óptimas implican:

- Mezclar el combustible con aire para disminuir la permanencia de concentraciones de productos de combustión con una gran carga de combustible.
- Obtener temperaturas lo suficientemente altas en presencia de oxígeno para destruir las especies de hidrocarburos.
- Prevención de zonas de enfriamiento o corredores de baja temperatura que permitan que salga de la cámara de combustión combustible parcialmente reaccionado.

Una administración adecuada del tiempo, temperatura y turbulencia (“las tres *tes*”), así como de oxígeno (flujo de aire), gracias a un buen diseño y funcionamiento del incinerador, ayudará a garantizar las condiciones aquí mencionadas. Con la mayor parte de las tecnologías se requieren temperaturas de 850 °C o superiores (ej., para los desechos que contienen sustancias orgánicas halogenadas, expresadas como cloro, > 1% por encima de 1100 °C) para lograr una combustión completa. La turbulencia, por medio de la mezcla de combustible y aire, ayuda a prevenir la formación de puntos fríos en la cámara de combustión y la acumulación de carbono, que pueden reducir la eficiencia de la combustión. El tiempo de residencia recomendado en la cámara de combustión secundaria del horno primario es de 2 segundos con 6% de oxígeno, por lo menos.

6.3.1 Técnicas generales de combustión

- Asegurarse de que la construcción del horno se ajuste a las características de los desechos que se procesarán.
- Mantener las temperaturas en las zonas de combustión de fase gaseosa en la escala óptima para completar la oxidación de los desechos (por ejemplo, 850 °C – 950 °C en incineradores de parrilla para desechos sólidos urbanos, y 1100 °C – 1200 °C cuando los desechos tienen un alto contenido de cloro).
- Prever un tiempo de residencia suficiente (ej., al menos 2 segundos con 6% de oxígeno) y una mezcla turbulenta en la cámara o cámaras de combustión para completar la incineración.
- Precalentar el aire primario y secundario para facilitar la combustión.
- Efectuar, en lo posible, procesos continuos en lugar de por partidas para disminuir las liberaciones del encendido y apagado.
- Establecer sistemas para vigilar parámetros críticos de combustión como temperatura, caídas de presión, niveles de CO, CO₂ y O₂ y, cuando proceda, velocidad de las parrillas.
- Prever intervenciones de control para ajustar la alimentación de desechos, velocidad de las parrillas, y temperatura, volumen y distribución del aire primario y secundario.
- Instalar quemadores auxiliares automáticos para mantener las temperaturas óptimas en la cámara o cámaras de combustión.
- Utilizar el aire de los silos y las instalaciones de almacenamiento como aire de combustión.

- Instalar sistemas que detengan automáticamente la alimentación de desechos cuando los parámetros de combustión no sean los adecuados.

6.3.2 Técnicas de incineración de desechos sólidos urbanos

- Los incineradores de desechos en bruto (parrilla móvil) son de uso generalizado en la combustión de desechos sólidos urbanos heterogéneos y tienen un largo historial de funcionamiento.
- Los incineradores de parrilla enfriados con agua tienen las ventajas adicionales de un mejor control de la combustión y la capacidad de procesar desechos sólidos urbanos con un mayor contenido calorífico.
- Los hornos rotatorios con parrillas pueden recibir desechos sólidos urbanos heterogéneos pero tienen un menor rendimiento que los incineradores de desechos en bruto o de parrilla móvil.
- Los hornos de parrillas estáticas con sistemas de transporte (por ejemplo, compuertas) tienen menos partes móviles pero los desechos pueden requerir más pretratamiento (es decir, trituración, separación).
- Los diseños modulares con cámaras secundarias de combustión dan buen resultado en aplicaciones de menor envergadura. Según el tamaño, estas unidades requieren operar por lotes.
- Los hornos de lechos fluidizados y hornos con cargador/esparcidor resultan idóneos los para desechos muy desmenuzados y uniformes, como el combustible derivado de basura.

6.3.3 Técnicas de incineración para desechos peligrosos

- Los hornos rotatorios dan buen resultado en la incineración de desechos peligrosos y pueden recibir líquidos y pastas además de sólidos.
- Los hornos con enfriamiento por agua pueden funcionar a temperaturas más elevadas y recibir desechos con alto valor energético.
- La aplicabilidad de calderas para recuperar el calor de los desechos debería considerarse detenidamente, en particular con respecto a la posibilidad de reformación de PCDD/PCDF.
- La uniformidad (y combustión) de los desechos puede mejorar triturando los tambores y otros desechos peligrosos empaquetados.
- Un sistema ecualizador de la alimentación (por ejemplo, transportadores helicoidales que puedan aplastar el material y proporcionar una cantidad constante de desechos sólidos peligrosos al horno) ayudará a garantizar una alimentación continua y controlada al horno, así como a mantener condiciones de combustión uniformes.

6.3.4 Técnicas de incineración para lodos de alcantarillado

- Los incineradores de lecho fluidizado dan buen resultado en el tratamiento térmico de lodos de alcantarillado.
- Los hornos de lecho fluidizado circulante permiten una flexibilidad en cuanto a combustible mayor que los de lechos burbujeantes, pero precisan ciclones para conservar el material del lecho.
- Se debe tener cuidado con las unidades de lecho burbujeante para evitar obstrucciones.
- El uso del calor recuperado del proceso para el secado de lodos reducirá la necesidad de combustible auxiliar.

- Las tecnologías de suministro son importantes en la coincineración de lodos de alcantarillado en incineradores de desechos sólidos urbanos. Las técnicas comprobadas son: pulverizado de lodo seco, introducción del lodo drenado por medio de rociadores, distribuyéndolo y mezclándolo en la parrilla, y la mezcla del lodo seco o drenado con desechos sólidos urbanos como alimento combinado (European Commission 2006)².

6.4 Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de gases de combustión

Son importantes el tipo y orden de los procesos de tratamiento aplicados a los gases de combustión una vez que salen de la cámara de incineración, tanto para el funcionamiento óptimo de los dispositivos como para la rentabilidad general de la planta. Los parámetros de la incineración de desechos que afectan la selección de las técnicas son: tipo, composición y variabilidad de los desechos, tipo de proceso de combustión, temperatura y flujo de los gases de combustión, y necesidad, y disponibilidad, de un tratamiento de aguas residuales. Las siguientes técnicas de tratamiento tienen efectos directos o indirectos en la prevención de la formación y disminución de liberaciones de las sustancias del Anexo C. Las mejores técnicas disponibles implican la adopción de la mejor combinación de sistemas de depuración de gases de combustión.

6.4.1 Técnicas de eliminación de polvo (material particulado)

- La eliminación del polvo de los gases de combustión es esencial para todo el funcionamiento del incinerador.
- Los precipitadores electrostáticos y los filtros de tela han resultado efectivos para la captura de partículas en gases de combustión de incinerador. En la Tabla 3 de la sección III.C (iv) de las presentes directrices puede verse una comparación de los sistemas primarios para eliminación de polvo.
- Los ciclones y multiciclones son menos eficientes en la eliminación de polvo y sólo deberían usarse como una forma de predeempolvamiento para eliminar las partículas más gruesas de los gases de combustión y reducir la carga de polvo en los pasos siguientes. La separación previa de partículas gruesas disminuirá la cantidad de cenizas volantes contaminadas con altas cargas de contaminantes orgánicos persistentes.
- La eficacia de la recolección de precipitadores electrostáticos se reduce a medida que aumenta la resistividad eléctrica del polvo, factor que debería tomarse en cuenta en situaciones en que la composición de los desechos cambia rápidamente (ej., incineradores de desechos peligrosos).
- Los precipitadores electrostáticos y los filtros de tela deberían operar a menos de 200 °C para disminuir la formación de PCDD/PCDF y de las otras sustancias del Anexo C.
- Los precipitadores electrostáticos húmedos pueden capturar partículas muy pequeñas pero requieren un tratamiento del efluente y normalmente se utilizan después del desempolvado.
- Los filtros de tela (filtros de manga) son muy utilizados en la incineración de desechos y además, cuando se usan en conjunto con la inyección de sorbente semiseco (secado por pulverización), tienen la ventaja de proporcionar mayor filtración y una superficie reactiva en la torta de filtro.
- La disminución de la presión al paso de los filtros de tela y la temperatura de los gases de combustión (si se utiliza un sistema de depuración al inicio del proceso) se deberían monitorear para asegurarse de que la torta de filtro esté en su lugar y que las mangas no tengan filtraciones o se estén humedeciendo. Un sistema de detección de filtraciones con

² En el Anexo I se comparan las técnicas de combustión de los distintos tipos de hornos.

un detector triboeléctrico es una alternativa para controlar el funcionamiento de los filtros de tela.

- Los filtros de tela pueden dañarse por efecto del agua y la corrosión; las corrientes de gas deben mantenerse por encima de la temperatura de punto de rocío (130 °C – 140 °C) para evitarlo. Algunos materiales de filtro son más resistentes. Para una explicación de las alternativas y características de los materiales de filtro véase la Tabla 2 en la sección III.C (iv) de las presentes directrices.

6.4.2 Técnicas de eliminación del gas ácido

- Los depuradores húmedos son los más eficientes para la eliminación de gases ácidos solubles entre las técnicas probadas en que el pH del agua del depurador es indicativo de la eficiencia de eliminación. Las partículas sólidas del agua del depurador también pueden generar interacción con PCDD/PCDF en la corriente de gas, influyendo así en la fiabilidad de la relación entre los resultados obtenidos del monitoreo de los gases de chimenea y el rendimiento efectivo de la planta.
- El desempolvado previo del flujo de gas puede ser necesario para evitar obstrucciones del depurador, a no ser que éste tenga la suficiente capacidad.
- El uso de materiales impregnados de carbón, carbón activado o coque en los materiales del empaquetado del depurador puede llegar a reducir en un 70% los PCDD/PCDF del depurador (European Commission 2006), aunque puede que no se refleje en las emisiones totales.
- Los secadores por pulverización (depuración semihúmeda) también poseen gran eficiencia de eliminación, con la ventaja de no requerir un tratamiento posterior de los efluentes. Además de los reactivos alcalinos agregados para eliminar el gas ácido, la inyección de carbón activado también es eficaz en la eliminación de PCDD/PCDF así como de mercurio. Además, los sistemas de depuración mediante secado por pulverización obtienen habitualmente un control de 93% de SO₂ y 98% de HCl.
- Los secadores por pulverización, como se mencionó anteriormente, suelen aplicarse antes que los filtros de tela. Los filtros se encargan de la captura de reactivos y productos de reacción además de proporcionar una superficie reactiva adicional sobre la torta de filtro.
- La temperatura de entrada a los filtros de tela en estas combinaciones es importante. Normalmente se precisan temperaturas superiores a 130 °C – 140 °C para evitar la condensación y corrosión de las mangas.
- Con respecto a la eliminación de gas ácido, los sistemas de depuración seca no pueden lograr la eficiencia de los depuradores húmedos o semihúmedos (secado por pulverización) sin aumentar significativamente la cantidad de reactivo/sorbente. El aumento en el uso de los reactivos incrementa el volumen de cenizas volantes.

6.4.3 Técnicas de refinamiento de gases de combustión

- La eliminación de polvo adicional puede ser conveniente antes de enviar los gases de combustión depurados a la chimenea. En las técnicas para refinar los gases de combustión se emplean filtros de tela, precipitadores electrostáticos húmedos y depuradores tipo Venturi.
- La filtración doble (filtros en serie) puede lograr habitualmente eficiencias de recolección de polvo de 1 mg/m³ o menos.
- Las ventajas adicionales de estas técnicas pueden ser escasas, y poca la rentabilidad, si ya se aplican técnicas efectivas al inicio del proceso.

- Donde el refinamiento de los gases de combustión puede tener más utilidad es en plantas de gran tamaño y en la depuración a fondo de flujos de gas antes de reacciones catalíticas selectivas.
- La adsorción puede realizarse mediante la inyección de carbón activado, en lechos estáticos o con materiales impregnados de carbón.

6.4.4 Técnicas de eliminación por óxidos de nitrógeno (NO_x) usando un catalizador

- Aunque la función primaria de una reacción catalítica selectiva es reducir las emisiones de NO_x, esta técnica también puede destruir sustancias del Anexo C en fase gaseosa (por ejemplo, PCDD/PCDF) con una eficiencia de 98–99.5% (European Commission 2006).
- Los gases de combustión pueden requerir recalentamiento a los 250 °C – 400 °C necesarios para el funcionamiento apropiado del catalizador.
- El desempeño de los sistemas de reacción catalítica selectiva es mejor con un refinamiento de los gases de combustión en los procesos previos. Estos sistemas se instalan después del despolvamiento y de la eliminación de gas ácido.
- Los notables costos (de capital y energía) de la reacción catalítica selectiva pueden ser solventados con más facilidad por instalaciones grandes, que tienen mayores flujos de gas y economías de escala.

6.5 Técnicas de gestión para residuos sólidos

Los desechos y residuos derivados de la incineración se componen de diversos tipos de cenizas (ej., cenizas de fondo, cenizas de caldera, cenizas volantes) y residuos de otros procesos de tratamiento de gases de combustión (como yeso proveniente de los depuradores húmedos), incluidos los efluentes líquidos en el caso de los sistemas de depuración húmeda.

Los depuradores secos y semihúmedos generalmente producen cantidades de desechos sólidos mayores que los depuradores húmedos. Además, estos desechos pueden contener cenizas volantes (si no se separan eficientemente), metales pesados (sobre todo, mercurio) y sorbentes sin reaccionar.

Como los componentes problemáticos pueden variar considerablemente, conviene en general mantener la separación de residuos para tratamiento, gestión y eliminación. La presencia y concentración de las sustancias del Anexo C en estos residuos (si se tratan en forma separada) está en función de su presencia en los desechos entrantes, su supervivencia o formación en el proceso de incineración, y formación y captura durante el tratamiento de gases de combustión. Las técnicas que pueden considerarse se presentan en detalle en las Orientaciones Técnicas de Basilea, capítulo IV, G 3, y también en la sección III.C (iv), subsecciones 2.1.2 y 2.2 de estas directrices. Será necesario establecer en cada caso cuáles de estas técnicas pueden considerarse mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales.

6.5.1 Técnicas de tratamiento para cenizas de fondo y de caldera

Las cenizas de fondo derivadas de incineradores diseñados y operados según mejores técnicas disponibles (es decir, incineradores con un buen comportamiento de combustión) suelen tener un muy bajo contenido de las sustancias del Anexo C, de un orden de magnitud parecido al de las concentraciones de fondo en suelos urbanos (es decir, < 1–10 ng EQT-I /kg de ceniza). Los niveles de cenizas de caldera tienden a ser superiores (20–500 ng EQT-I /kg de ceniza) pero en ambos casos se encuentran muy por debajo de las concentraciones promedio encontradas en las cenizas volantes (European Commission 2006).

Por las diferencias en la concentración de los contaminantes, la mezcla de cenizas de fondo con cenizas volantes contaminará las primeras y está prohibida en muchos países. La recolección y almacenamiento separados de estos residuos facilitan a los operadores su eliminación.

En muchos países, las cenizas de fondo (o escoria de los incineradores de lecho fluidizado) se expiden a rellenos sanitarios, pero puede reutilizarse en materiales de construcción y en la construcción de carreteras, una vez pretratamiento. Antes de usarlas, no obstante, debería evaluarse su contenido y lixivialidad y deben definirse los niveles más altos de contaminantes orgánicos persistentes, metales pesados y otros parámetros.

Las técnicas de pretratamiento posibles son: tratamiento seco, húmedo y térmico, así como selección trituración y separación de metales.

Se sabe que la lixivialidad de las sustancias del Anexo C aumenta junto con el pH y las condiciones húmicas (presencia de materia orgánica). Por ello, parece preferible su eliminación en instalaciones selladas y exclusivas en lugar de vertederos que reciben desechos mixtos.

6.5.2 Técnicas de gestión para el tratamiento de residuos de gases de combustión

A diferencia de las cenizas de fondo, los residuos de los dispositivos para control de la contaminación atmosférica, incluidas las cenizas volantes y los lodos de depuradores, poseen concentraciones relativamente altas de metales pesados, contaminantes orgánicos (en particular, PCDD/PCDF), cloruros y sulfuros. La eliminación por separado de cenizas volantes y residuos procedentes de las etapas de limpieza de gases de combustión (ej., para la eliminación de gas ácido y dioxinas) impide que se mezclen fracciones de desechos poco contaminadas con las altamente contaminadas.

Cuando las cenizas de fondo se vayan a reutilizar (ej., como material de construcción), la combinación con otros residuos de gases de combustión no constituye una de las mejores técnicas disponibles.

En muchos países, las cenizas volantes son enviadas a vertederos sanitarios exclusivos. Sin embargo, para que esta práctica constituya una MTD es probable que se deba exigir un pretratamiento (véase asimismo la sección III.C (iv), subsecciones 2.1.2 y 2.2).

6.6 Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de efluentes

En la incineración, las aguas residuales de procesos provienen principalmente del uso de tecnologías de depuración húmeda. Puede reducirse esta necesidad de aguas residuales y su tratamiento con el uso de sistemas secos y semihúmedos.

Las mejores técnicas disponibles para el tratamiento de aguas residuales consisten en optimizar la recirculación y reutilización en la misma planta del agua residual que se produce, el uso de sistemas separados para el tratamiento de aguas residuales con distintos grados de contaminación, el uso de tratamientos físico-químicos de los efluentes del depurador y la eliminación de amoníaco, en caso necesario. Para eliminar compuestos orgánicos se emplean filtros de coque activado y polímeros impregnados con carbón.

Con una combinación de técnicas de tratamiento adecuadas (véase también la sección III.C sobre Consideraciones transectoriales) los niveles de PCDD/PCDF en el agua residual tratada serán del orden de $< 0.01\text{--}0.1$ ng EQT-I/I (European Commission 2006).

6.7 Efecto de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en otros contaminantes

En la descripción de técnicas y prácticas en esta orientación provisional se pone de relieve, ante todo, su efectividad comprobada para prevenir, disminuir o reducir la formación y liberación de las sustancias del Anexo C. Muchas de estas prácticas sirven también para reducir emisiones de otros contaminantes, y algunas pueden estar concebidas inicialmente con tal fin (ej., la separación en origen de metales y otros materiales no combustibles de los flujos de desechos, la reducción catalítica selectiva para controlar el NO_x , los controles de gas ácido para reducir el SO_2 , la absorción por carbón para control del mercurio). Algunas técnicas pensadas para captar otros contaminantes (ej., los precipitadores electrostáticos de alta temperatura de entrada) han tenido que ser rediseñadas o reemplazadas para evitar incrementos en la formación y liberación de las sustancias del Anexo C.

En última instancia, las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para la incineración de desechos no se reducen al efecto que puedan tener en las sustancias del Anexo C, ya que se refieren a todos los aspectos de la incineración, la recuperación de energía, el tratamiento de gases de combustión, el tratamiento de aguas residuales y los procesos de tratamiento de residuos. La gran mayoría de estas técnicas, no obstante, son complementarias de los objetivos de prevención o reducción de las liberaciones de las sustancias de Anexo C (en cuanto a co-beneficios, véase la sección III.C (iii) de estas directrices).

6.8 Incineradores nuevos y con importantes modificaciones

El Convenio de Estocolmo (Anexo C, Parte V, sección B, inciso (b)) establece que antes de que las Partes aprueben propuestas de construir o realizar importantes modificaciones a fuentes que liberan las sustancias del Anexo C, deberían “considerarse de manera prioritaria” los “procesos, técnicas o prácticas de carácter alternativo que tengan similar utilidad, pero que eviten la formación y liberación” de estos compuestos. En los casos en que, habiéndose efectuado tal estudio, se decida proceder a la construcción o modificación, el Convenio presenta a consideración un conjunto de medidas de reducción generales. Si bien estas medidas generales se han incorporado al análisis anterior de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para estas categorías, hay factores adicionales que serán importantes a la hora de decidir si es factible construir o modificar una planta incineradora de desechos. Las repercusiones directas e indirectas sobre la salud humana y el medio ambiente deberían preverse por medio de una adecuada evaluación del impacto ambiental. Además, deberían considerarse los siguientes otros factores:

6.8.1 Otros factores en la instalación de nuevas incineradoras de desechos sólidos urbanos

- ¿Se ha previsto con precisión la naturaleza y volumen de la generación de desechos sólidos urbanos no reciclables en el área de operación?
- ¿El suministro de desechos permitirá el funcionamiento continuo del incinerador?
- ¿Esta previsión toma en cuenta los programas de disminución, reciclaje y recuperación de desechos pertinentes?
- ¿La infraestructura de transporte es suficiente para la recolección y transporte?
- ¿Se ha investigado la eventualidad de restricciones al transporte local o interestatal de desechos?
- ¿Puede accederse a mercados para algunos de los materiales separados *in situ*?
- ¿Puede accederse a mercados para el vapor o electricidad excedentes generados *in situ*?
- ¿Hay opciones ambientalmente racionales para el tratamiento y eliminación de residuos?

6.8.2 Otros factores en la instalación de nuevas incineradoras de desechos peligrosos

- ¿Se ha previsto con precisión la naturaleza y volumen de la generación de desechos peligrosos en el área de operación?
- ¿El suministro de desechos permitirá el funcionamiento continuo del incinerador?
- ¿La infraestructura es suficiente para cubrir las necesidades de transporte?
- Si se ha previsto transporte internacional, ¿existen los acuerdos necesarios que permitan el movimiento transfronterizo?
- ¿Se han hecho los acuerdos necesarios con los proveedores para garantizar el embalaje y manejo en condiciones de seguridad?

- ¿Puede accederse a mercados para el vapor o electricidad excedentes generados *in situ*?
- ¿Hay opciones ambientalmente racionales para el tratamiento y eliminación de residuos?

6.8.3 Otros factores en la instalación de nuevos incineradores de lodos de alcantarillado

- ¿Se ha previsto con precisión la naturaleza y volumen de la generación de lodos de alcantarillado en el área de operación?
- ¿El suministro de desechos permitirá el funcionamiento continuo del incinerador?
- ¿Se ha determinado si los lodos de alcantarillado en el área de servicio están mezclados con desechos industriales u otros desechos?
- ¿Se pretende co-incinerar lodos de alcantarillado con desechos sólidos urbanos o como combustible complementario en instalaciones de servicios públicos?
- ¿Puede accederse a mercados para el vapor o electricidad excedentes generados *in situ*?
- ¿Hay opciones ambientalmente racionales para el tratamiento y eliminación de residuos?

6.9 Modificación de incineradoras de desechos existentes

Cabe prever modificaciones significativas a una incineradora de desechos existente por diversas razones, por ejemplo, para ampliar su capacidad, efectuar reparaciones necesarias, mejoras para aumentar la eficiencia de la combustión y la recuperación de energía, y para modernizar los equipos de control de la contaminación atmosférica y tratamiento de aguas residuales. Muchas plantas de incineración de desechos ya se han modernizado con estos dispositivos, con lo que ha mejorado enormemente su desempeño ambiental. Antes de llevar a cabo una modificación, además de las “consideraciones prioritarias” mencionadas anteriormente, será importante considerar los siguientes factores:

- ¿Cómo afectará la modificación las liberaciones potenciales de las sustancias del Anexo C?
- Si la modificación consiste en añadir un dispositivo de control de la contaminación atmosférica, ¿su diseño es apropiado para la instalación?
- ¿Hay espacio suficiente para su instalación y operación según las mejores técnicas disponibles? Por ejemplo, el espacio disponible puede requerir una modernización de doble filtración (filtros en serie, aunque no necesariamente adyacentes) en vez de un sistema de depuración alternativo.
- ¿El dispositivo modernizado operará concertadamente con los dispositivos de control de contaminación atmosférica y de agua residual existentes para disminuir las liberaciones?

Los costos de realizar modificaciones a una instalación existente dependen de la situación de cada planta y pueden representar montos de 25% a 50% superiores a los costos de cambios similares para una instalación nueva (European Commission 2006). Los factores que influyen en este aumento tienen que ver con la ingeniería adicional necesaria, el retiro y la eliminación del equipo reemplazado, la reconfiguración de conexiones, y las pérdidas de productividad por la interrupción de actividad.

7. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles

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

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

Referencias

Austrian Waste Incineration Ordinance, Fed. Law Gazette Nr. II 389/2002

Basel Convention Secretariat. 2002. *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.

European Commission. 2006. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

European Council Directive on the landfill of waste (1999/31/EC)

European Directive on the Incineration of Waste (2000/76/EC)

Stubenvoll J., Böhmer S. *et al.* 2002. *State of the Art for Waste Incineration Plants*. Umweltbundesamt, Vienna.

www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/industrie/pdfs/english_version.pdf.

Umweltbundesamt Berlin. 2001. Draft of a German Report for the creation of a BREF-document "Waste Incineration" Umweltbundesamt Berlin.

UNEP (United Nations Environment Programme) Basel Convention Technical Guidelines: General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs); 2005.

(ii) Desechos médicos

Resumen

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

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

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

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

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

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

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

1. Introducción

En esta sección se abordan las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el tratamiento (térmico) de desechos médicos (de ahora en adelante, desechos sanitarios), ya que, en la Parte II, el Convenio de Estocolmo considera las incineradoras de desechos médicos como una categoría de fuente que puede generar importantes emisiones de las sustancias del Anexo C del Convenio.

En esta sección se tratará casi exclusivamente de desechos sanitarios infecciosos. Cuando los desechos comparables a los desechos domésticos se separan adecuadamente de los desechos infecciosos, pueden ser derivados hacia los mecanismos de eliminación de desechos urbanos. En cambio, si no existen prácticas de separación de desechos eficaces, o no habiendo sistemas de gestión y capacitación necesarios para mantenerlas, la cantidad total de desechos potencialmente infecciosos que requiere tratamiento aumenta drásticamente.

Hay otras técnicas para tratar desechos sanitarios, como la esterilización de desechos infecciosos, que no generan emisiones de las sustancias del Anexo C. Ya se han descrito las ventajas, inconvenientes y aplicabilidad de estas técnicas, por lo que no explicarán en detalle en esta sección.

2. Categorías de desechos sanitarios

Los hospitales producen grandes cantidades de desechos que corresponden a distintas categorías. Los desechos médicos también pueden provenir de otras fuentes, como son los servicios de emergencias médicas, centros de transfusión o diálisis, laboratorios, prácticas de investigación con animales y bancos de sangre. Entre el 75% y el 90% de los desechos producidos no son peligrosos o son desechos médicos generales, comparables a los desechos domésticos. En su mayoría provienen de las actividades administrativas y de aseo de los establecimientos hospitalarios y también pueden contener desechos derivados del mantenimiento de las instalaciones. El 10%–25% restante de los desechos médicos se considera peligroso y puede implicar diversos riesgos para la salud. Menos del 10% de estos desechos es de naturaleza infecciosa. Otros tipos de desechos son las sustancias tóxicas, los medicamentos citotóxicos y los desechos inflamables o radiactivos.

Los distintos tipos de desechos sanitarios pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Desechos sanitarios infecciosos (peligrosos)
- Objetos cortantes (peligrosos)
- Desechos anatómicos y patológicos (restos orgánicos, etc.)
- Sustancias químicas, desechos tóxicos o farmacéuticos, incluidos los medicamentos citotóxicos (antineoplásicos) (en su mayoría peligrosos)
- Desechos radiactivos
- Desechos generales no infecciosos (ej., vidrio, papel, envoltorios, alimentos)

A efectos de estas directrices, las siguientes definiciones han sido tomadas de las Directrices Técnicas sobre el Manejo Ambientalmente Racional de los Desechos Biomédicos y Sanitarios (Basel Convention Secretariat 2002).

2.1 Desechos médicos infecciosos¹

Los desechos médicos infecciosos comprenden materiales descartados o equipos contaminados con sangre y sus derivados, y otros fluidos corporales o sustancias excretadas por pacientes infectados con enfermedades transmisibles peligrosas. También corresponden a desechos contaminados provenientes de pacientes que sean portadores conocidos de enfermedades de transmisión sanguínea sometidos a hemodiálisis (por ejemplo equipos de diálisis tales como tubos y filtros, sábanas desechables, ropa de cama, delantales, guantes o túnicas de laboratorio contaminadas con sangre), y desechos de laboratorio (cultivos y cepas con cualquier agente biológico viable artificialmente cultivado en cantidades importantes, platos y elementos utilizados para transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes infecciosos, y animales infectados provenientes de laboratorios).

2.2 Desechos biológicos procedentes de la asistencia sanitaria

Los desechos biológicos procedentes de la asistencia sanitaria consisten en todas las partes corporales y otros desechos anatómicos, incluidos la sangre y los fluidos biológicos y los desechos patológicos reconocibles por el público o el personal de asistencia sanitaria, que requieran, por razones éticas, la aplicación de requisitos especiales de eliminación.

¹ La interpretación de la definición de desechos médicos varía según las circunstancias, políticas y reglamentación nacionales. Las organizaciones internacionales (la OMS, la Organización de las Naciones Unidas, etc.) tienen interpretaciones específicas de la definición. La infecciosidad es una de las características peligrosas mencionadas en el Anexo III del Convenio de Basilea y se define en la categoría H6.2.

2.3 Objetos cortantes

En ésta categoría figuran todos los desechos biomédicos y sanitarios con filos o partes punzantes que puedan causar lesiones o penetrar en el organismo humano a través de la piel. Los objetos cortantes provenientes de pacientes infectados con enfermedades transmisibles peligrosas o de pabellones de aislamiento, así como otros objetos punzantes contaminados con los desechos de laboratorio antes mencionados, deben clasificarse como desechos infecciosos.

3. Técnicas alternativas para fuentes nuevas y existentes

3.1 Fuentes nuevas

Al momento de decidirse por métodos de tratamiento de desechos generados por actividades de asistencia médica, se debería dar prioridad a procesos, técnicas o prácticas alternativas que tienen una utilidad similar pero que no forman ni liberan las sustancias del Anexo C.

Por los altos costos de inversión, operación, mantenimiento y vigilancia de las incineradoras de desechos que aplican mejores técnicas disponibles, rara vez se logra un funcionamiento económico y efectivo, y más aún en el caso de las pequeñas instalaciones de incineración que tienen los hospitales. No es de extrañar, entonces, que muchas instalaciones pequeñas sean clausuradas en lugar de modernizadas.

Por consiguiente, en muchos casos puede ser preferible la esterilización con vapor en el mismo sitio y otras técnicas de tratamiento de desechos sanitarios que no utilizan combustión. En otros, se prefieren las plantas de tratamiento de desechos centralizadas al tratamiento descentralizado *in situ* de los desechos sanitarios. El tratamiento de desechos médicos, por lo tanto, debería formar parte integral del plan de gestión de desechos de cualquier país o región.

3.2 Fuentes existentes

Por deficiencias de diseño, operación, equipamiento y vigilancia en muchas incineradoras pequeñas de hospitales, no puede considerarse que estas instalaciones utilicen mejores técnicas disponibles. Un incinerador de desechos médicos sin la tecnología necesaria para reducir la contaminación libera una gran variedad de contaminantes, incluidos PCDD/PCDF, metales (como plomo, mercurio y cadmio), material particulado, gases ácidos (cloruro de hidrógeno (HCl) y dióxido de azufre (SO₂)), monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno (NO_x). Estas emisiones tienen consecuencias negativas importantes para la seguridad de los trabajadores, la salud pública y el medio ambiente.

El costo de la modernización de instalaciones antiguas es un factor clave cuando se habla de eliminación de desechos médicos. Al evaluar los costos de una unidad de incineración que utilice mejores técnicas disponibles, los responsables de tomar las decisiones deberían considerar factores como los costos de capital y costos operativos del incinerador, además de los del depurador y otros aparatos para control de contaminación, el costo de las modernizaciones de la cámara secundaria en incineradores antiguos, los costos de pruebas periódicas en las chimeneas, el monitoreo, capacitación y acreditación del operador, y los costos de mantenimiento y reparación, sobre todo cuando se presenta desgaste o agrietado en el revestimiento refractario.

Por consiguiente, cuando se estudian técnicas alternativas para el tratamiento de desechos debe considerarse la posibilidad de clausurar las instalaciones que no estén en condiciones adecuadas, o transferir los desechos a plantas centralizadas de tratamiento de desechos sanitarios.

3.3 Técnicas alternativas

Las siguientes técnicas alternativas no generan ni liberan sustancias del Anexo C y, por lo tanto, se les debería dar prioridad para la eliminación final de estas sustancias. Independientemente, en otros aspectos podrían presentar ventajas e inconvenientes. Para más información sobre estas técnicas remitimos a Basel Convention Secretariat 2002.

Los siguientes métodos son adecuados para desechos infecciosos y biológicos y objetos cortantes, y se aplican en forma muy generalizada.² Crear un programa efectivo para gestión de desechos, como se describe en el apartado 4 de esta sección, es fundamental para todas las técnicas que se describen a continuación. Los desechos químicos peligrosos, desechos quimioterapéuticos, compuestos orgánicos volátiles, mercurio y desechos radiactivos no deberían tratarse mediante los sistemas descritos en esta sección, ya que con ello se generaría la liberación de sustancias tóxicas en el aire, los condensados o los desechos tratados.

Las técnicas alternativas como son las de esterilización, tratamiento por microondas, hidrólisis alcalina y tratamiento biológico implican, de todas formas, la eliminación final en rellenos sanitarios.

Se debería capacitar a los trabajadores en habilidades como el manejo apropiado de los desechos y el funcionamiento y mantenimiento de los equipos. También debe considerarse la exposición en el lugar de trabajo a las mismas sustancias desinfectantes por emisiones fugitivas, fugas o derrames accidentales de los depósitos de almacenamiento, descargas provenientes de la unidad de tratamiento o sustancias volatilizadas provenientes de desechos tratados o de efluentes líquidos. A veces, los desinfectantes químicos se almacenan en forma concentrada, con lo que aumentan los riesgos.

Puesto que, por lo general, los procesos químicos requieren trituración, la liberación de agentes patógenos por la formación de aerosoles puede ser motivo de preocupación. Por lo general, las tecnologías que utilizan sustancias químicas operan como sistemas cerrados o bajo presión negativa, expulsando sus emanaciones a través de filtros HEPA (absorbente de partículas de alta eficiencia) y otros filtros.

Los establecimientos médicos y hospitalarios deberían considerar los siguientes factores al seleccionar una tecnología que no utilice la incineración (Health Care Without Harm Europe 2004):

- Aceptación legal
- Capacidad de flujo
- Tipos de desechos tratados
- Eficacia de la inactivación microbiana
- Emisiones ambientales y residuos de desechos
- Requisitos de espacio
- Requisitos de instalación de servicios y otros
- Reducción de desechos
- Seguridad y salud ocupacionales
- Ruido
- Olores
- Automatización
- Fiabilidad
- Nivel de comercialización
- Antecedentes del fabricante o vendedor de la tecnología
- Costo
- Aceptación de parte de la comunidad y del personal

3.3.1 Esterilización por vapor

La esterilización por vapor o autoclave consiste en exponer los desechos a vapor saturado bajo presión en un autoclave o recipiente de presión. Con esta tecnología no se pierde la individualidad de los desechos ni reduce su volumen a menos que se agregue una trituradora o moledora. Si los flujos de

² Puede obtenerse información sobre los costos de las diversas técnicas en *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies*, capítulo 11 (Health Care Without Harm 2001).

desechos no se separan adecuadamente para evitar que entren sustancias químicas peligrosas (ej., medicamentos antineoplásicos o metales pesados como el mercurio) en la cámara de tratamiento, se liberarán contaminantes tóxicos en el aire, los condensados o los desechos tratados. Pueden generarse olores molestos que contienen niveles bajos de alcohol, fenoles, aldehídos y otros compuestos orgánicos pero estos olores pueden reducirse con equipos de ventilación apropiados (ej., filtros de partículas o de carbón). Sería útil contar con más análisis independientes de las emisiones de autoclaves operando en condiciones típicas.

Los autoclaves pueden ser de gran variedad de tamaños; pueden tratar desde unos pocos kilos a varias toneladas por ciclo. Los costos de capital son relativamente bajos en comparación a otras técnicas alternativas. Los autoclaves deben inspeccionarse al menos una vez al año para determinar cualquier cambio importante respecto de las lecturas anteriores de los perfiles temperatura-tiempo, presión de vacío y vapor.

El ciclo de tratamiento (el requisito mínimo es de 30 minutos a 121 °C) se determina por la capacidad del calor de penetrar la carga de desechos. Algunos tipos de desechos o configuraciones de carga que crean barreras para la transferencia del calor requieren periodos de exposición más largos y/o temperaturas más altas. El nivel necesario de desinfección debe controlarse con los medios apropiados (ej., tiras de ensayo, pruebas microbiológicas).

3.3.2 Sistemas mejorados de esterilización por vapor

Los autoclaves mejorados o sistemas de esterilización avanzados a base de vapor combinan el tratamiento con vapor con prevacío y diversos tipos de procesos mecánicos antes, durante y después del tratamiento con vapor. Muchos de los sistemas mejorados también comprenden sistemas automatizados para la alimentación de desechos, vacío/deshidratación después del tratamiento, enfriamiento de desechos tratados, y filtrado del aire particulado de alta eficiencia y/o filtros de carbón para eliminar olores.

Los sistemas mejorados con trituradoras o molidoras incorporadas pueden tratar desechos que contengan objetos cortantes y también desechos patológicos, como partes anatómicas. Entre los inconvenientes hay que mencionar los costos de capital, que son relativamente altos, el ruido y los altos costos de mantenimiento de las trituradoras y otros dispositivos mecánicos.

Al igual que en la esterilización por vapor simple, la esterilización mejorada requiere una separación apropiada de los desechos para evitar liberaciones de sustancias peligrosas a los diferentes medios (véase Figura 1)

3.3.3 Tratamiento con microondas

La desinfección con microondas también es, de hecho, un proceso a base de vapor ya que la desinfección se realiza mediante la acción de calor húmedo y vapor generado por energía de microondas. Las unidades de microondas con trituradores internos pueden tratar desechos patológicos y habitualmente se utilizan para tratar desechos de objetos cortantes. Los inconvenientes son los costos de capital relativamente altos, el ruido de la trituradora, y la posibilidad de olores molestos. Pueden generarse olores molestos que contienen niveles bajos de alcohol, fenoles, aldehídos, y otros compuestos orgánicos, pero se pueden mitigar con los equipos de ventilación apropiados (ej., filtros de partículas o de carbono).

3.3.4 Esterilización con calor seco

La esterilización con calor seco consiste en exponer los desechos al calor, a temperaturas y durante periodos suficientes que garanticen la esterilización de toda la carga de desechos. Como regla general, los procesos con calor seco emplean temperaturas más altas y periodos de exposición más largos que los procesos de vapor. Normalmente tienen incorporado el proceso de trituración (para disminuir el volumen de desechos). La tecnología es simple, automatizada y de fácil uso.

Los compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, desechos quimioterapéuticos, mercurio, otros desechos químicos peligrosos y desechos radiológicos no deberían tratarse en sistemas de calor seco. Pueden producirse olores molestos, que en algunos sistemas se eliminan mediante filtros para partículas de aire de alta eficiencia o filtros de carbono. El aire caliente de la cámara se enfría en un depurador Venturi, que elimina también partículas.

3.3.5 Hidrólisis alcalina

La hidrólisis alcalina (o digestión alcalina en caliente) es otro proceso químico empleado para desintegrar materiales orgánicos. El mismo proceso puede degradar agentes quimioterapéuticos, formaldehído, fijadores y otras sustancias tóxicas sin envasar. En un proceso típico se utiliza un tanque de acero inoxidable sellado en el que se mezclan los desechos con álcali calentado a temperaturas entre 110 °C y 150 °C. Según la cantidad de desechos, la concentración de álcalis y la temperatura, el proceso de la digestión puede tardar entre 3 y 8 horas. Los sistemas comerciales son muy automatizados. Puede requerirse tratamiento para los desechos y líquidos derivados de la hidrólisis alcalina.

3.3.6 Tratamiento biológico

El tratamiento biológico consiste en el uso de microorganismos o sustancias bioquímicas para descomponer los desechos. Este proceso implica el uso de enzimas y digestión aerobia y anaerobia. Es preferible que el tratamiento se lleve a cabo en un sistema cerrado. Pueden generarse olores molestos en la aplicación de tratamiento anaerobio.

3.3.7 Rellenos sanitarios especialmente contruidos

- (a) Desechos infecciosos (ej., desechos médicos infecciosos, objetos cortopunzantes, desechos anatómicos y patológicos):

Estos desechos no deberían verterse en rellenos sanitarios. No obstante, si se esterilizan pueden considerarse desechos generales no infecciosos y pueden llevarse a rellenos sanitarios o tratarse según la sección V.A (i) *supra* (salvo los objetos cortopunzantes, que también deben considerarse en función de sus características físicas).

- (b) Desechos de sustancias químicas, tóxicas, farmacéuticas y desechos generales:

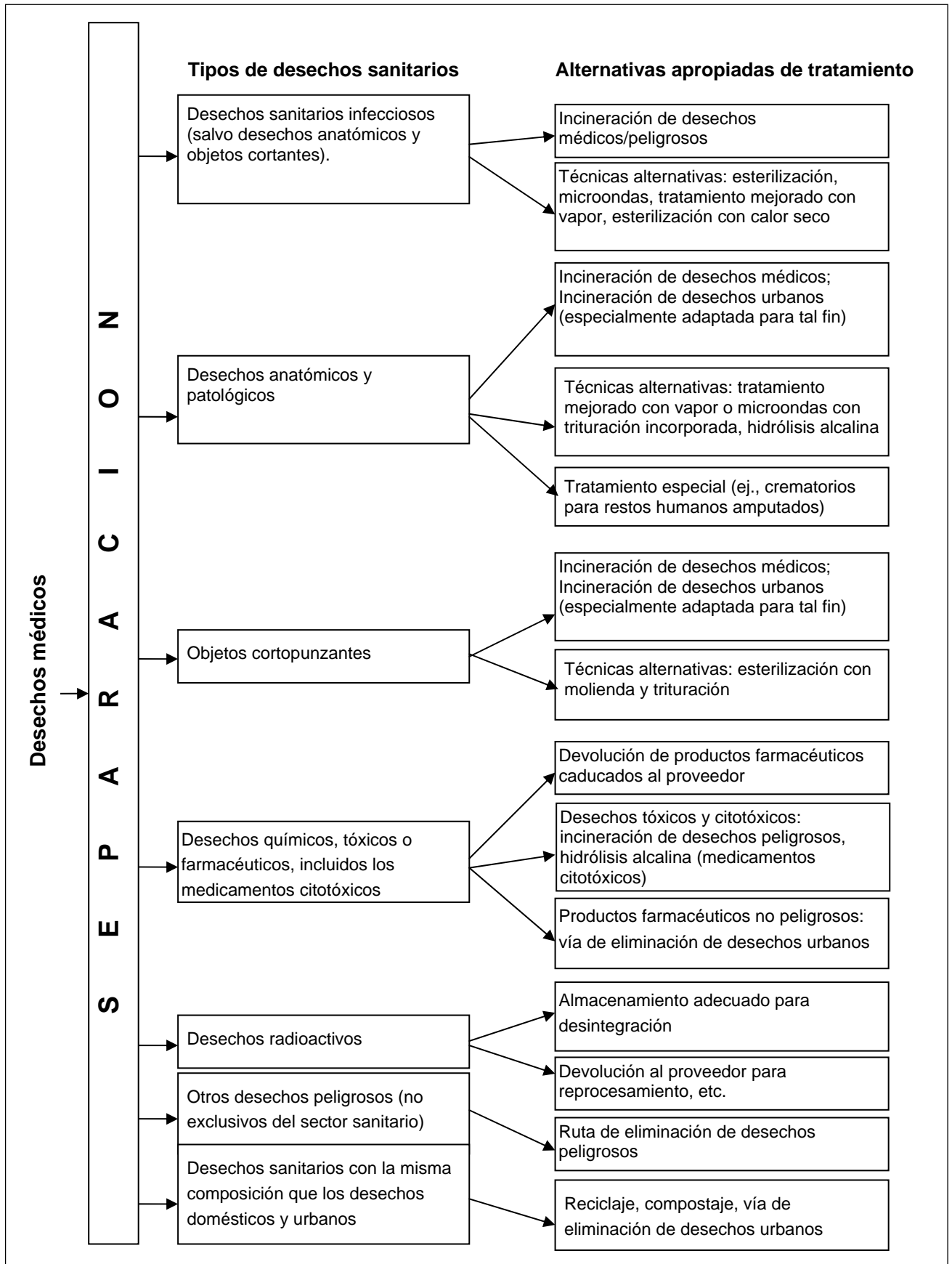
Un relleno sanitario especialmente construido puede ser una opción para estos desechos pero se debe prestar atención a sus características físicas y químicas individuales.

- (c) Desechos radiactivos:

Estos desechos no deberían verterse en rellenos sanitarios.

En la figura 1 (Basel Convention Secretariat 2002, capítulo 2, Figura 2, adaptación) se explican las fracciones de desechos en que deberían separarse los desechos sanitarios y sugiere alternativas de tratamiento.

Figura 1. Separación y alternativas de tratamiento para desechos médicos



4. Mejores prácticas ambientales para la gestión de desechos sanitarios

Todo hospital debería tener un plan de gestión de desechos para la separación y el tratamiento minucioso de sus desechos. De esta forma pueden reducirse los costos de su eliminación final. Un plan para gestión de desechos de un hospital también puede comprender el tratamiento de ciertas fracciones de desechos provenientes de otros hospitales para reducir los costos y aumentar el desempeño ambiental de la gestión total de los desechos.

Los objetivos principales de la gestión de desechos hospitalarios son los siguientes:

- Aminorar los riesgos para el personal, la población y el medio ambiente
- Disminuir las cantidades de desechos que se generan
- Realizar la segregación y separación de desechos
- Designar lugares para depósito en los pabellones
- Establecer vías seguras para el transporte de desechos
- Establecer un área segura y adecuada para el almacenamiento temporal
- Tratar y eliminar los desechos de manera ambientalmente racional

En el marco del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, se publicaron las *Directrices Técnicas sobre el Manejo Ambientalmente Racional de los Desechos Biomédicos y Sanitarios* (Basel Convention Secretariat 2002). Se recomienda encarecidamente el uso y la aplicación de estas directrices, que contienen información detallada sobre los peligros de los desechos sanitarios, la gestión segura de desechos médicos, la separación y recolección adecuada de desechos, los métodos de tratamiento y eliminación, y la creación de capacidad.

En previsión del establecimiento de un plan adecuado para la gestión de desechos sanitarios, es preciso:

- Caracterizar la naturaleza y cantidad de las diferentes fracciones de desechos
- Determinar alternativas para evitar o reducir la generación de desechos (políticas de compra para evitar embalajes innecesarios, tamaños de embalaje rentabilizados, gestión de existencias, evaluación de procesos laborales, reutilización de materiales y equipos cuando sea factible y no implique riesgos)
- Establecer sistemas de capacitación y gestión para garantizar una separación y manipulación eficaces de desechos infecciosos, tóxicos y ordinarios
- Determinar los contenedores apropiados para recolección, almacenamiento y trasiego
- Establecer las responsabilidades del personal
- Describir las alternativas de tratamiento adecuadas para las distintas fracciones de desechos
- Prever la documentación y control adecuados para la eliminación de desechos
- Describir el transporte de la fracción de desechos al lugar de eliminación definitiva y el tipo de tratamiento final
- Calcular los costos de las distintas actividades

Antes de un tratamiento y eliminación eficaces, con tecnología de punta, hay ciertas prácticas que se consideran necesarias. Las prácticas que se describen a continuación pueden relacionarse

directamente con formas de reducir y evitar las sustancias del Anexo C pero también representan principios generales que pueden influir en la generación de fracciones de desechos y contribuir a la seguridad del personal, de la población y el medio ambiente.

Hay gran cantidad de material sobre la gestión de desechos médicos en distintas fuentes (Basel Convention Secretariat 2002; WHO 2000; Health Care Without Harm Europe 2004), si se desea información más detallada. En estas directrices sólo se ofrece un panorama sumario de las mejores prácticas comunes.

4.1 Reducción en la fuente

Reducción en la fuente significa disminuir o eliminar la generación de desechos desde su origen. La reducción en la fuente debería tener mayor prioridad que el reciclaje o la reutilización. El personal médico, los encargados de la gestión de desechos y las instancias de normalización de productos deberían saber las proporciones del flujo de desechos que son generadas por los productos que adquieren. De hecho, una estrecha participación del personal de compras es esencial para la efectividad de cualquier programa de reducción en la fuente. Se deberían tomar medidas para reducir en la fuente los desechos médicos reglamentados, los desechos peligrosos, los desechos de bajo nivel radiactivo, así como la basura ordinaria. Algunas técnicas específicas para la reducción en la fuente (teniendo presente que los productos alternativos deben cumplir los requisitos pertinentes en términos de higiene y seguridad del paciente) son las siguientes:

- Eliminación o cambio del material, o sustitución del producto
- Cambio de tecnología o proceso
- Adquisiciones preferenciales
- Buenas prácticas operativas

4.2 Separación

Por encima de todo, la separación es la clave para la gestión eficaz de desechos médicos. Garantiza que se sigan las vías de eliminación correctas. Los desechos deberían separarse según las alternativas de tratamiento sugeridas. La separación debería efectuarse bajo supervisión del productor de los desechos y lo más cerca posible de la fuente, es decir, en el pabellón, al pie de la cama, en el anfiteatro, en el laboratorio, en la sala de partos, etc., y debe realizarla la persona que genera el desecho, por ejemplo el personal auxiliar, el doctor o el especialista, a fin de aislar el desecho inmediatamente y de evitar los peligros de una segunda clasificación.

4.3 Recuperación y reciclaje de recursos

Algunos ejemplos específicos de medios para recuperar y reutilizar los materiales del flujo de desechos:

- Reciclar periódicos, material de embalaje, papelería de oficina, vidrio, latas de aluminio, escombros y otros materiales reciclables
- Comprar productos hechos de material reciclado después de su consumo
- Compostar los desechos de alimentos orgánicos
- Recuperar la plata de las sustancias químicas fotográficas

4.4 Capacitación del personal

El personal debería recibir instrucciones detalladas sobre los siguientes aspectos:

- Riesgos asociados con los desechos sanitarios

- Clasificación y códigos de las distintas fracciones de desechos y sus criterios de clasificación
- Costos del tratamiento de desechos
- Procesos de gestión de desechos desde su generación hasta su eliminación
- Funcionamiento y mantenimiento de plantas de tratamiento de desechos
- Responsabilidades
- Repercusiones de los errores y las deficiencias de gestión

4.5 Recolección en el sitio de generación de los desechos

- Entregar recipientes con código de color en los puntos de generación o cerca de ellos para separar los distintos tipos de desechos
- Embalar adecuadamente los desechos: deberían usarse recipientes sólidos o bolsas de plástico colocadas dentro de un contenedor rígido o semirígido para los desechos infecciosos no cortantes. Las bolsas de plástico deberían ser impermeables, y tener la consistencia necesaria para que no se rasguen o revienten en condiciones ordinarias de uso. Los recipientes para objetos cortopunzantes deberían ser rígidos, resistentes a las perforaciones y a prueba de filtraciones. Pueden ser reciclables (de metal o plástico autoclavable) o desechables (cartón grueso o plástico). Los contenedores para objetos cortopunzantes deberían tener tapa
- Rotular debidamente los recipientes de desechos, por ejemplo, ‘infeccioso’ o ‘citotóxico’
- Los recipientes sólo deberían llenarse hasta las tres cuartas partes de su capacidad
- Los desechos muy infecciosos deberían, en lo posible, esterilizarse inmediatamente en autoclave. Por lo tanto, deberían envasarse en bolsas compatibles con el proceso de tratamiento propuesto

4.6 Transporte al área de almacenamiento intermedio

- Una vez llenos los recipientes primarios, deben trasladarse a un área de almacenamiento intermedia
- Establecer un área de almacenamiento designada siguiendo las recomendaciones de la OMS, con acceso exclusivo para personal autorizado
- El personal que maneja los desechos debe llevar vestimenta de protección (guantes, zapatos) durante la recolección, transporte y almacenamiento
- Definir claramente las vías y tiempos de transporte
- No se deberían compactar recipientes con objetos cortopunzantes u otros desechos infecciosos
- La clasificación de fracciones de desechos infecciosos no debe realizarse manualmente

5. Técnicas aplicadas a la incineración de desechos médicos

5.1 Descripción del proceso

No se deberían quemar los desechos sanitarios a cielo abierto. La incineración es un método importante para tratar y descontaminar desechos biomédicos y sanitarios. Este apartado contiene

orientación sobre la incineración de las siguientes fracciones de desechos (mayormente) peligrosos: desechos sanitarios infecciosos, desechos biológicos sanitarios y objetos cortopunzantes.

La incineración es un proceso de oxidación seca a alta temperatura (850 °C a 1100 °C) que reduce los desechos orgánicos y combustibles a una materia inorgánica e incombustible, lo que da como resultado una disminución muy significativa del volumen y peso de los desechos.

La pirólisis es un proceso de combustión en el que se produce degradación térmica en una atmósfera carente de oxígeno a temperatura entre 500 °C y 600 °C.

La incineración y pirólisis sólo deberían realizarse en plantas cuya organización, funcionamiento y mantenimiento sean apropiados. El sistema debería estar concebido para las características específicas de los desechos sanitarios peligrosos (alto contenido de agua, alto contenido de plástico). Las tecnologías que a continuación se exponen son bastante sofisticadas, por lo que sólo deberían incinerarse fracciones de desechos peligrosos en las plantas que las emplean. Otros desechos sanitarios que son parecidos a los desechos urbanos deberían separarse de antemano y someterse a otras tecnologías de tratamiento de desechos.

Si los desechos infecciosos no se incineran inmediatamente (durante 48 horas), deben depositarse en una cámara refrigerada (máximo 10 °C). Las áreas de trabajo y almacenamiento deberían estar organizadas de forma que se facilite su desinfección.

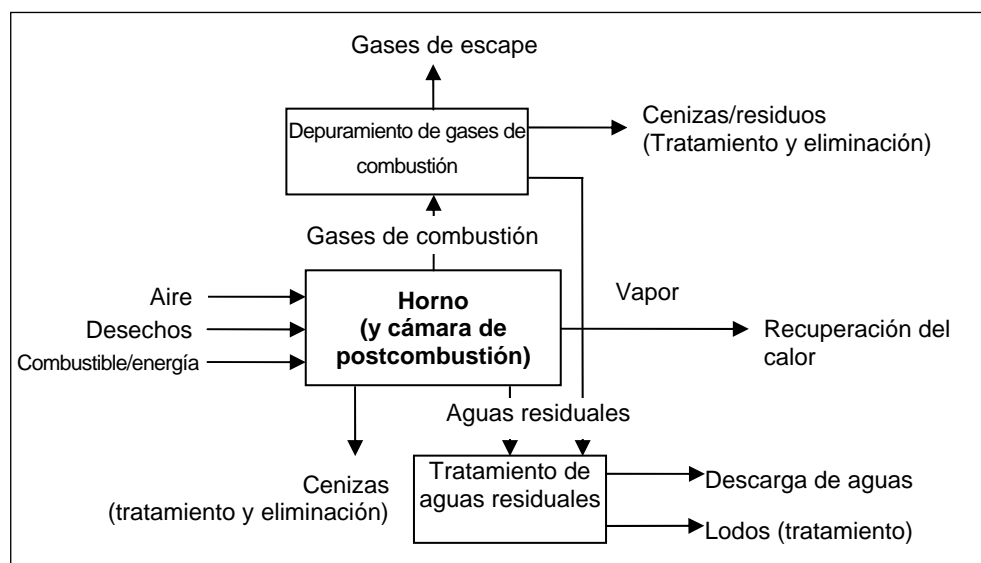
Una planta de incineración se compone esencialmente de las siguientes unidades (Figura 2):

- Caldera u horno
- Cámara de postcombustión
- Dispositivos secos, húmedos y/o catalíticos para depuración de gases de combustión (incluidas las técnicas de absorción)
- Planta de tratamiento de aguas residuales (cuando se usan sistemas húmedos para tratamiento de gases de combustión)

Las siguientes tecnologías se consideran mejores técnicas disponibles para el tratamiento térmico de desechos sanitarios:

- Tratamiento pirolítico o gasificación de desechos
- Horno rotatorio
- Incinerador de parrilla especialmente adaptado para desechos sanitarios infecciosos (línea de eliminación de desechos urbanos)
- Incinerador de lecho fluidizado
- Sistemas modulares

Los incineradores de cámara simple, de tambor y de ladrillo no se consideran como mejores técnicas disponibles.

Figura 2. Diagrama simplificado del funcionamiento de un incinerador

5.2 Técnicas de tratamiento térmico

5.2.1 Plantas de pirólisis

Las plantas de pirólisis con cámaras de postcombustión suelen ser plantas pequeñas que operan en forma intermitente. Los desechos sanitarios vienen embalados en bidones o bolsas para carga. Las plantas de mayor tamaño deberían estar equipadas con aparatos de carga automática. En plantas con sistemas de desgasificación o de gasificación, el secado, desgasificación y gasificación se realizan en un reactor antes de la combustión.

Los desechos se introducen por cargas dentro una cámara de destilación, que se calienta hasta llegar a una temperatura suficiente para destilar los desechos. Los gases emitidos por la cámara de destilación se mezclan con una corriente de aire continua en la cámara de postcombustión y se mantienen a una temperatura de aproximadamente 900 °C por co-combustión de combustible complementario. Los gases de combustión emitidos por la cámara de postcombustión se enfrían en una caldera de agua caliente conectada posteriormente y se mandan a un sistema de depuración de gases de combustión. La caldera transforma el agua en vapor, que puede utilizarse para generar electricidad para un hospital, viviendas o comercios. A fin de garantizar la suficiente combustión de las cenizas, se le enciende con quemadores de gas antes de descargarlo de la cámara de destilación. En las plantas pequeñas las fluctuaciones en el caudal y las variaciones en el contenido de los desechos incinerados se compensan con los combustibles auxiliares.

En las plantas de pirólisis el contenido de polvo de los gases de combustión es pequeño en comparación con los sistemas de combustión convencionales. Sin embargo, hay una gran demanda de combustibles adicionales, por lo que se forman grandes volúmenes de gases de combustión.

Capacidades habituales (tratamiento *in situ*): de 200 kg a 10 ton al día.

5.2.2 Horno rotatorio

Otra tecnología empleada es el horno rotatorio (véase además la sección V.A (i), subsección 2.2 de estas directrices). La combustión de desechos sanitarios puede efectuarse en pequeños hornos rotatorios (por ejemplo, en el hospital) o, lo que es más habitual, en grandes plantas donde se realiza la combustión de fracciones diversas de desechos peligrosos.

Los desechos son trasladados por medio de grúas desde el silo a la tolva para desechos, ubicada frente a la cámara de combustión. En la mayoría de los casos se acopla una esclusa a la tolva para enviar los

desechos directamente al horno rotatorio. Los desechos líquidos y muy viscosos pueden alimentarse por la pared frontal. Por la inclinación y rotación del horno, los desechos avanzan y van circulando, lo que produce un contacto intenso con el aire primario que fluye a través del horno rotatorio. A diferencia de la combustión en parrilla, los hornos rotatorios son sistemas cerrados; por eso también pueden recibir materiales líquidos y muy viscosos. Los gases de escape que salen del horno rotatorio son tratados en una cámara de postcombustión. A fin de asegurar las altas temperaturas necesarias para completar la destrucción de los compuestos orgánicos (850 °C – 1100 °C, según el tipo de desecho), las cámaras de postcombustión están equipadas con quemadores que se encienden automáticamente cuando la temperatura cae por debajo del valor previsto.

Al final del horno rotatorio aparece escoria, ya sea sinterizada o fundida. Al caer en el agua de la unidad de desescoriado se forma una escoria granulada. Cuando la escoria se sinteriza, esta etapa es similar al del sistema de combustión en parrillas. Los hornos rotatorios y las cámaras de postcombustión se construyen por lo general como cámaras de combustión adiabáticas, con revestimiento de cerámica. Después de la cámara de combustión los gases emitidos pasan a un área vacía hasta llegar a una temperatura de 700 °C. Luego se disponen haces de dispositivos de calentamiento, como evaporadores, supercalentadores y precalentadores de agua de alimentación. El sistema de caldera de recuperación y suministro de energía es similar al de los sistemas de combustión en parrillas.

Capacidades del incinerador: de 0.5 a 3 toneladas por hora (para la incineración de desechos sanitarios).

5.2.3 Incinerador de parrilla

La incineración de desechos sanitarios en incineradores de desechos urbanos requiere adaptaciones especiales. Si se van a incinerar desechos sanitarios infecciosos en un incinerador de desechos urbanos, deben desinfectarse y esterilizarse con anterioridad, o bien vaciarse en el incinerador mediante carga automática dentro de contenedores apropiados. Debe evitarse mezclar previamente desechos infecciosos con otros tipos de desechos así como la manipulación directa. Véase la sección V.A (i) de las presentes directrices para más información sobre la incineración de desechos urbanos.

5.2.4 Incineradores de lecho fluidizado

Los incineradores de lecho fluidizado son de uso generalizado en la incineración de desechos muy desmenuzados, como el combustible derivado de desechos y los lodos de alcantarillado. Este método se ha usado durante décadas, principalmente para la combustión de combustibles homogéneos. El incinerador de lecho fluidizado consiste en una cámara de combustión revestida con forma de cilindro vertical. En la parte inferior, un lecho de material inerte (ej., arena o cenizas) sobre una parrilla o una placa de distribución se fluidiza con aire. Los desechos para incineración se van depositando en el lecho de arena fluidizada por la parte superior o lateral.

Se introduce aire precalentado en la cámara de combustión a través de aberturas en la placa del lecho, formando un lecho fluidizado con la arena que se encuentra en la cámara de combustión. Los desechos se depositan dentro del reactor mediante una bomba, un alimentador con válvula estrella o un tubo transportador helicoidal. En el lecho fluidizado se lleva a cabo el secado, la volatilización, la ignición y la combustión. La temperatura en el espacio libre por encima del lecho generalmente va de 850 °C a 950 °C. Sobre el material del lecho fluidizado, el espacio libre sirve para retener los gases en una zona de combustión. En el lecho mismo la temperatura es inferior, y puede ser de unos 650 °C. Por las características de mezclado del reactor, en los sistemas de incineración en lecho fluidizado suele darse una distribución uniforme de temperaturas y oxígeno, cuyo resultado es un funcionamiento estable. En el caso de desechos heterogéneos, la combustión de lecho fluidizado requiere una etapa de preparación de los desechos para que su tamaño se ajuste a las especificaciones correspondientes. Para algunos desechos, puede consistir en una combinación de recolección selectiva de los mismos o pretratamiento, como la trituración. Algunos tipos de lechos fluidizados (por ejemplo, el lecho fluidizado rotatorio) pueden recibir partículas de desechos de tamaño más grande

que otros. Cuando es así, es posible que no se requiera reducción, o que baste con una reducción aproximada.

5.2.5 Sistemas modulares

Los sistemas modulares son un tipo común de incinerador de desechos (sólidos urbanos) muy utilizados en los Estados Unidos, Europa y Asia. Los incineradores modulares constan de dos cámaras de combustión montadas verticalmente (una cámara primaria y una secundaria). En las configuraciones modulares la capacidad de combustión habitualmente va de 1 a 270 toneladas al día. Hay dos tipos principales de sistemas modulares: sistemas con exceso de aire y con insuficiencia de aire:

- El sistema modular con exceso de aire consiste en dos cámaras de combustión, primaria y secundaria, que funcionan con niveles de aire superiores a los requisitos estequiométricos (ej., 100–250% de exceso de aire)
- En el tipo de sistema modular con insuficiencia de aire (o aire controlado), se proporciona aire a la cámara primaria a niveles subestequiométricos. Los productos de la combustión incompleta se incorporan a los gases de combustión que se forman en la cámara de combustión primaria y luego pasan a una cámara de combustión secundaria. Se agrega excedente de aire a la cámara secundaria, y se completa la combustión con temperaturas elevadas sostenidas con combustible auxiliar (por lo general, gas natural). La temperatura elevada y uniforme de la cámara secundaria, combinada con el mezclado turbulento de los gases de combustión, favorece una baja formación y emisión de material particulado y contaminantes orgánicos

5.3 Depuración de gases de combustión

Los gases de combustión producidos por incineradores contienen cenizas volantes (material particulado) contaminadas con metales, PCDD/PCDF, compuestos orgánicos termoresistentes, y gases como los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, óxidos de carbono y haluros de hidrógeno. Los gases de combustión generados en un sistema de operación por lotes no controlada (sin depuración de gases de combustión) contendrán aproximadamente 2000 ng. EQT/m³ (UNEP 2005).³

Para garantizar que se aplican mejores técnicas disponibles se deben combinar correctamente las medidas adecuadas para depuración de gases de combustión (véase la sección III.C (iv) y V.A. (i) 6.4 de las presentes directrices).

5.4 Tratamiento de cenizas volantes y de fondo, tratamiento de aguas residuales

Las principales fracciones de desechos son cenizas volantes, escoria, tortas de filtro utilizadas en el tratamiento de aguas residuales, yeso, y carbón activado agotado. Estos desechos son mayormente peligrosos y se deben eliminar en rellenos sanitarios especiales. Los métodos más empleados son el depósito en vertederos dentro de contenedores de doble pared, la solidificación y posterior envío a rellenos sanitarios, y el postratamiento térmico (véase también la sección V.A (i), apartado 5 de las presentes directrices).

6. Mejores técnicas disponibles y resumen de mejores prácticas ambientales

Además de aplicar mejores prácticas ambientales a la incineración de desechos sanitarios, hay toda una serie de técnicas comprobadas de ingeniería de combustión, depuración de gases de combustión y gestión de residuos para prevenir la formación o disminuir las liberaciones de las sustancias del

³ 1 ng (nanogramo) = 1×10^{-12} kilogramo (1×10^{-9} gramo); Nm³ = metro cúbico normal, volumen del gas seco medido a 0 °C y 101.3 kPa. Para información sobre la medición de toxicidad véase la sección I.C, subsección 3 de este documento.

Anexo C. Para un análisis detallado de lo que representan mejores técnicas disponibles para la incineradoras de desechos remitimos al *European Commission BAT Reference (BREF) Document on Waste Incineration* (European Commission 2006).

Existen además tecnologías que no utilizan la incineración (véase la sección III.C (ii) de estas directrices), y que pueden representar alternativas factibles y ambientalmente racionales a la incineración. En este apartado, sin embargo, se trata de determinar cuáles son mejores técnicas aplicables al proceso de incineración, a saber, un buen diseño, funcionamiento y mantenimiento de una planta incineradora de desechos que permitan disminuir efectivamente la formación y liberación de las sustancias de Anexo C.

Al analizar las mejores técnicas disponibles que se describen aquí para la incineración de desechos es importante considerar que la solución óptima para un tipo específico de planta incineradora dependerá de las condiciones locales. Las mejores técnicas disponibles que aquí se exponen no deben considerarse como un listado en el que se indique la solución idónea, ya que para ello habría que analizar las condiciones locales con mucho detalle, cosa que no permiten estas directrices generales sobre mejores técnicas disponibles. Por consiguiente, el hecho de combinar algunos elementos que se describen como mejores técnicas disponibles en estas directrices, sin considerar las condiciones locales, puede que no indique la solución local óptima en función del medio ambiente en su totalidad. (European Commission 2006).

El uso de mejores técnicas disponibles en incineradores también reducirá las emisiones de ácido hidroclórico y metales (en especial de mercurio). El tratamiento apropiado de cenizas de fondo y residuos derivados de la depuración de gases de combustión es esencial para disminuir las liberaciones de PCDD/PCDF al medio ambiente y reducirá las posteriores liberaciones generadas por los residuos depositados en rellenos sanitarios.

En relación con la incineración, las medidas primarias por sí solas reducirán significativamente la emisión de las sustancias que figuran del Anexo C del Convenio de Estocolmo. No obstante, la instrumentación de las mejores técnicas disponibles requiere medidas primarias y secundarias. Con una adecuada combinación de medidas primarias y secundarias, los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF son de un máximo de 0.1 ng EQT-I/Nm³ (con 11% O₂). Se observa además que, en condiciones normales de funcionamiento, se pueden obtener emisiones inferiores en una planta incineradora de desechos bien diseñada.

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

En las tablas siguientes se presenta un resumen de lo que constituyen mejores prácticas ambientales y mejores técnicas disponibles para la incineración de desechos sanitarios.

Tabla 1. Orientación general

Medida	Descripción	Consideraciones	Otros comentarios
Separación de desechos	Clasificación clara. Separar desechos sanitarios de otros desechos en la fuente, y disminuir la cantidad de desechos para tratamiento en la categoría de desechos sanitarios.		Puede ser efectiva directamente para la reducción de las sustancias del Anexo C pero como parte de un concepto integral para la gestión de desechos.
Procesos alternativos	En especial, si la planta existente o prevista no puede cumplir los requisitos de desempeño, se debería dar prioridad a procesos	Procesos alternativos a la incineración de desechos sanitarios infecciosos: <ul style="list-style-type: none"> • Esterilización con vapor 	

Medida	Descripción	Consideraciones	Otros comentarios
	alternativos que tengan menor potencial de impacto ambiental que la incineración de desechos.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema avanzado de esterilización con vapor • Tratamiento con microondas • Esterilización con calor seco • Tratamiento biológico • Hidrólisis alcalina • Rellenos sanitarios 	

Tabla 2. Incineración de desechos sanitarios: Tecnologías de combustión que representan mejores técnicas disponibles

Tecnología	Consideraciones	Otros comentarios
Incineración pirolítica	Ideal para plantas pequeñas (de 200 kg/día a 10 t/día) y tratamiento <i>in situ</i> .	Altos costos de inversión y mantenimiento; se precisa personal bien capacitado.
Horno rotatorio	Ideal para plantas de tamaño medio (0.5–3 tons/hora).	Uso de refrigeración por agua en los hornos rotatorios, altos costos de inversión y mantenimiento; se precisa personal bien capacitado; alto consumo de energía.
Incinerador con parrilla (incinerador de desechos urbanos)		Uso de refrigeración por agua en las parrillas. La quema en incineradores de desechos urbanos exige adaptaciones especiales para desechos sanitarios (ej., carga automática). No se permite manipulación directa ni mezcla previa de desechos sanitarios infecciosos.
Incinerador de lecho fluidizado		
Sistemas modulares	De una a 270 toneladas por día.	

Tabla 3. Incineración de desechos sanitarios: Medidas generales

Opciones de gestión	Características de las emisiones	Otras consideraciones
No incinerar desechos a menos que se tomen medidas específicas para reducir las sustancias del Anexo C (medidas primarias y secundarias, según corresponda; véase Tablas 5 y 6).	Posibles liberaciones de los compuestos del Anexo C y metales volátiles.	<p>Detectar posible contenido de halógeno en los desechos y tomar las medidas primarias y secundarias apropiadas (véase Tablas 5 y 6).</p> <p>Detectar posible contenido de metales pesados en los desechos y tomar las medidas primarias y secundarias apropiadas (véase Tablas 5 y 6).</p>
Transporte, almacenamiento, y seguridad adecuados para desechos sanitarios según características de los	No reduce directamente las sustancias del Anexo C pero forma parte de un concepto	

Opciones de gestión	Características de las emisiones	Otras consideraciones
tipos de desechos.	integrado para la gestión de desechos.	
Ubicación de la planta: Son preferibles las unidades centralizadas de incineración al tratamiento <i>in situ</i> descentralizado para desechos sanitarios peligrosos.		
Incineración de desechos sanitarios sólo en instalaciones exclusivas o grandes incineradoras para desechos peligrosos.		Las características de los desechos sanitarios (alto contenido de agua y plástico) requieren equipo especial.
Si no se utiliza una incineradora de desechos sanitarios exclusiva, se debe prever un sistema de carga separada para desechos infecciosos.	No reduce directamente las sustancias del Anexo C pero forma parte de un concepto integrado para la gestión de desechos.	
No incinerar desechos radiactivos.	No sirve para reducir las sustancias de Anexo C.	

Tabla 4. Incineración de desechos sanitarios: Medidas de organización

Medida	Consideraciones
<ul style="list-style-type: none"> • Personal bien capacitado. • Operación y vigilancia del incinerador con mantenimiento periódico (limpieza de la cámara de combustión, desincrustación de entradas de aire y quemadores de combustible; uso de vestimenta de protección). • Mediciones regulares y/o continuas de los contaminantes pertinentes. • Implantación de vigilancia ambiental (establecer protocolos normalizados de vigilancia). • Creación y puesta en marcha de sistemas de auditoría y registro. • Infraestructura general, pavimentación, ventilación. • Evaluación del impacto ambiental, audiencias públicas y atención a las opiniones de la comunidad antes del establecimiento de nuevas incineradoras. 	<p>El funcionamiento de incineradores exige operadores calificados. Conviene recordar que durante todo su periodo de funcionamiento (20 años o más, por lo general), la incineradora debería poder contar con operadores calificados. Se debería corroborar la disponibilidad de estos operadores en la zona antes de adquirir incineradores de alta tecnología. Si no se cuenta con operadores calificados, los establecimientos sanitarios deberían recurrir a tecnologías alternativas para la desinfección de desechos sanitarios o contratar los servicios de incineración de una planta regional.</p> <p>Igualmente se deberían firmar contratos a largo plazo para mantenimiento y reparación, modernización (de ser necesaria) y tratamiento y eliminación final de residuos sólidos derivados de la incineración.</p>

Tabla 5. Medidas primarias y máximo aprovechamiento del proceso para reducir emisiones de PCDD/PCDF

Opciones de gestión para aprovechamiento óptimo de las condiciones de combustión	Otras consideraciones
Introducir los desechos en la cámara de combustión sólo a 850 °C; las instalaciones deberían tener y utilizar un sistema automático para evitar la alimentación de desechos antes de que se llegue a la temperatura adecuada.	Se necesita modernizar todo el proceso.
Instalar quemadores auxiliares (para las operaciones de arranque y paro).	
En general, evitar arranques e interrupciones del proceso de incineración.	
Evitar temperaturas menores a 850 °C y zonas frías en los gases de combustión.	
Suficiente contenido de oxígeno; control del ingreso de oxígeno en función del poder calorífico y la consistencia del material introducido.	A contenido de oxígeno: 6% vol.
Tiempo de residencia suficiente (mínimo 2 seg.) en una cámara de combustión secundaria después de la última inyección de aire y temperaturas por encima de 850 °C (1100 °C para desechos altamente clorados, o sea, desechos con más de 1% de sustancias orgánicas halogenadas) y 6% O ₂ .	Se requiere un tiempo de residencia suficiente especialmente por el contenido de plástico y agua de los desechos.
Alta turbulencia de gases de escape y reducción del exceso de aire: ej., inyección de aire secundario o gas de combustión recirculado, precalentamiento de los flujos de aire, ingreso de aire regulado.	El ingreso de aire optimizado contribuye a aumentar las temperaturas.
Vigilancia (en línea) para controlar la combustión (temperatura, contenido de oxígeno, CO, polvo), operación y control de la incineración desde una consola central.	

Tabla 6. Medidas secundarias

Opciones de gestión	Características de las liberaciones	Aplicabilidad	Otras consideraciones
<i>Desempolvamiento</i>			
Evitar la deposición de partículas mediante deshollinadores, sacudidores mecánicos, sopladores de hollín sónicos o de vapor, limpieza frecuente de secciones transitadas por gases de combustión a temperaturas críticas.			Los sopladores de hollín a base de vapor pueden aumentar los niveles de formación de PCDD/PCDF.
Eliminar eficazmente el polvo por los siguientes medios:	< 10 % de emisiones restantes en comparación con sistemas no controlados	Media	Eliminación de PCDD/PCDF adsorbidos en partículas.

Filtros de tela	1–0.1% de emisiones restantes	Alto	Utilización a temperaturas de < 260 °C (según el material).
Filtros de cerámica			Técnica reciente; utilización a temperaturas de 800 °C a 1000 °C, poco usual en incineradoras de desechos.
Ciclones (sólo para depuración previa de gases de combustión)	Baja eficiencia	Media	Eficaz sólo para partículas grandes.
Precipitación electrostática	Eficiencia regular		Utilización a una temperatura de 450 °C; posible promoción de síntesis <i>de novo</i> de PCDD/PCDF, baja eficiencia con partículas finas, más emisiones de NO _x , disminución de la recuperación de calor
Unidad de adsorción de alto rendimiento con partículas de carbón vegetal activado (Venturi electrodinámico)			Para eliminar partículas finas de polvo
Reducción de emisiones de las sustancias que figuran en el Anexo C mediante:			
Oxidación catalítica	Alta eficiencia (< 0.1 ng EQT/m ³)	Altos costos de inversión altos, bajos costos de operación	Sólo para compuestos gaseosos; es necesario eliminar previamente metales pesados y polvo; reducción adicional de NO _x si se agrega NH ₃ ; exigencias de espacio; los catalizadores pueden ser reprocesados por el fabricante en la mayoría de los casos; sobrecalentamiento en presencia de demasiado CO; más consumo de energía por recalentamiento de gases de combustión; sin residuos sólidos.
Enfriamiento brusco por gas			Poco común en incineradoras de desechos.
Filtros de tela revestidos con catalizador	Alta eficiencia (< 0.1 ng EQT/m ³)		Por ejemplo, hecho de PTFE, con despolvamiento paralelo, menor contaminación del polvo del filtro por la destrucción de PCDD/PCDF en la superficie catalizadora.
Diferentes tipos de métodos de adsorción húmeda y seca con combinaciones de carbón vegetal activado, coque de horno de solera, soluciones de cal y caliza en reactores de lecho fijo, lecho móvil y lecho fluidizado:			

Reactor de lecho fijo, absorción con carbón vegetal activado o coque de horno de solera	< 0.1 ng EQT/m ³	Altos costos de inversión, costos de operación medios	Exigencia de espacio; hay que eliminar los residuos sólidos derivados de la limpieza de gases de combustión (= desechos peligrosos); vigilancia permanente de CO; posible aumento de emisiones de polvo por la adición de partículas de carbón; consumo de coque de horno de solera de 2 a 5 veces mayor al de carbón vegetal activado; posible incineración de agentes de adsorción usados en la planta; riesgo de incendio/explosión.
Reactor de corriente de arrastre o lecho fluidizado móvil con adición de coque/cal o piedra caliza y posterior filtro de tela	< 0.1 ng EQT/m ³	Bajos costos de inversión, costos de operación medios	Poco común en plantas de incineración exclusiva de desechos sanitarios; hay que eliminar los residuos sólidos generados por la depuración de gases de combustión (= desechos peligrosos); riesgo de incendio/explosión.
Tratamiento adecuado para cenizas volantes y de fondo, y para aguas residuales: <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación en rellenos sanitarios seguros (ej., almacenamiento subterráneo). • Tratamiento catalítico para el polvo de filtros de tela con bajas temperaturas y falta de oxígeno. • Depuración del polvo de filtros de tela por proceso 3-R (extracción de metales pesados mediante ácidos). • Combustión para destrucción de materia orgánica (ej., horno rotatorio, Hagenmeier-Trommel) y posterior uso de filtros de tela, depuradores. • Vitrificación del polvo de filtros de tela u otros métodos de inmovilización (ej., solidificación con cemento) y posterior envío a rellenos sanitarios. • Aplicación de tecnología de plasma (técnica incipiente). 			Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y del enfriamiento de cenizas volantes constituyen desechos peligrosos. Los gases de combustión pueden devolverse a la cámara de combustión del incinerador.

7. Niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles

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

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

Referencias

- Basel Convention Secretariat. 2002. *Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Biomedical and Health-Care Waste*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Geneva.
- Health Care Without Harm. 2001. *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies*. Chapter 11. Health Care Without Harm, Washington, D.C. www.noharm.org/nonincineration.
- Health Care Without Harm Europe. 2004. *Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies in Europe*. www.noharm.org.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases*. UNEP, Geneva. www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2005.pdf.
- WHO (World Health Organization). 1999. *Safe Management of Wastes from Health Care Activities*. WHO, Geneva.
- WHO (World Health Organization). 2004 *Safe health-care waste management*; Policy Paper
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2005 Basel Convention Technical Guidelines: General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs).

Otras fuentes

- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2001. *Canada-Wide Standards for Dioxins and Furans for Incineration*. CCME, Winnipeg. www.ccme.ca/initiatives/standards.html?category_id=50#23.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 1997. *Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators: Final Rule*. 40 CFR Part 60. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/1997/September/Day-15/a23835.htm.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. *Federal Plan Requirements for Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators Constructed on or before June 20, 1996: Final Rule*. 40 CFR Part 62. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2000/August/Day-15/a20341.htm.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Proposed Standards for Hazardous Air Pollutants for Hazardous Waste Combustors*. Draft. EPA, Washington, D.C. www.epa.gov/fedrgstr.
- European Commission. 2000. "Directive 2000/76/EC on the Incineration of Waste." *Official Journal of the European Communities* L332:91.
- European Commission. 2006. *Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.
- Giroletti E. and Lodola L. 1993. *Waste Treatment and Management*. Medical Waste Treatment: ISPRA courses. unipv.it/webgiro/ricerch/Public/ISPRA93-medicalWaste.pdf.
- Institute for Environmental Medicine and Hospital Hygiene. 2000. "Practical Guide for Optimising the Disposal of Hospital Waste: Reduction and Utilisation of Hospital Waste, with the Focus on Hazardous, Toxic and Infectious Waste." *LIFE96ENV/D/10*. University Clinical Centre, Freiburg.
- Stubenvoll J., Böhmer S. *et al.* 2002. *State of the Art for Waste Incineration Plants*. Umweltbundesamt, Vienna. www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/industrie/pdfs/english_version.pdf.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 1998. *Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on Persistent Organic Pollutants*. New York and Geneva. www.unece.org/env/lrtap/full%20text/1998.POPs.e.pdf.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2005. *Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases Edition 2.1*. UNEP, Geneva. www.chem.unep.ch/pops/pcdd_activities/toolkit/Toolkit%20-%20version/Toolkit-2005_2-1_en.pdf.