

Sección VI

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

**Categoría de fuentes (c) de la Parte III:
Fuentes de combustión doméstica**

Índice

Lista de tablas	i
Lista de cuadros	ii
VI.C Fuentes de combustión doméstica.....	1
Introducción.....	1
1. Liberaciones de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo derivadas de la combustión doméstica	2
1.1 Emisiones de la combustión de combustibles fósiles y biomasa.....	2
1.2. Emisiones de la combustión de combustibles mezclados y contaminados	4
2. Mejores técnicas disponibles.....	6
2.1 Combustibles y aparatos: Principios generales.....	6
2.2 Aparatos de cocina y calefacción	7
3 Mejores prácticas ambientales	7
3.1 Aparatos de combustión y problemas potenciales.....	7
3.2 Ventilación	8
3.3 Inspección y mantenimiento.....	9
3.4 Uso correcto de los aparatos y el combustible	10
3.5 Programas de educación, sensibilización y capacitación	10
3.6 Gestión de la combustión doméstica	11
3.7 Gestión de las liberaciones hacia otros medios	11
4 Aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales	11
Referencias	14
Otras fuentes	14

Lista de tablas

Tabla 1. Factores de emisión de PCDD/PCDF de la combustión de combustibles fósiles.....	3
Tabla 2. Factores de emisión de PCDD/PCDF y PCB de la combustión doméstica	4
Tabla 3. Factores de emisión de PCDD/PCDF y PCB de diversos combustibles	4
Tabla 4. Comparación de factores de emisión de PCDD/PCDF de la combustión de madera limpia y madera contaminada	5
Tabla 5. Aparatos de combustión y problemas potenciales	7
Tabla 6. Programa para la inspección y el mantenimiento	9
Tabla 7. Relación entre factores de emisión de PCDD/PCDF y contenido de PVC en el material quemado	10
Tabla 8. Posibles opciones y obstáculos para la aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para aparatos de combustión domésticos	12

Lista de cuadros

Cuadro 1 Sensibilización y educación: estudios de caso	13
--	----

VI.C Fuentes de combustión doméstica

Resumen

La presente sección trata de la combustión de madera, carbón, gas y otros compuestos orgánicos utilizados principalmente para calefacción y cocina domésticas. La combustión se realiza en estufas o chimeneas de encendido manual y, en el caso de sistemas centrales de calefacción más grandes, en instalaciones de encendido automático. Algunos estudios han demostrado que las fuentes de combustión domésticas liberan cantidades importantes de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. La cantidad de compuestos liberados depende principalmente del combustible utilizado (desechos domésticos, maderos impregnados de sal marina y madera tratada son fuentes importantes de PCDD/PCDF) y de la eficiencia de la combustión. La eficiencia de la combustión depende de la temperatura de la misma, adecuada mezcla de los gases, el tiempo de residencia, suficiente oxígeno y propiedades del combustible. Por su gran profusión, los aparatos de combustión doméstica contribuyen perceptiblemente a las liberaciones globales de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C.

La quema eficiente de combustibles limpios y no tratados para calefacción y cocina de importancia primordial para reducir la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C. Algunas estrategias para reducir las liberaciones de estas sustancias a partir de fuentes de combustión doméstica son los programas de educación, sensibilización y capacitación sobre el uso correcto de aparatos, uso de combustibles adecuados y efectos de la combustión doméstica no controlada en la salud. Los aparatos pequeños de calefacción y cocina domésticas no suelen contar con las tecnologías de reducción utilizadas comúnmente en establecimientos industriales. No obstante, con el uso y buen funcionamiento de estufas bien diseñadas se pueden lograr reducciones de las sustancias químicas del Anexo C, con la importante ventaja complementaria de mejorar la calidad del aire en interiores.

Los quemadores cerrados de baja emisión, con ductos de escape y uso de leña seca bien curada se consideran mejores técnicas disponibles. En países y regiones donde no se dispone de este tipo de combustibles y aparatos, las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para la combustión doméstica consisten en garantizar la separación de los desechos domésticos de los combustibles para evitar la quema de los primeros en aparatos de calefacción y cocina. En todos los países, debería evitarse el uso de madera tratada o maderos impregnados de sal marina, así como el uso de plásticos como material para encendido o combustible.

En todos los países del mundo cocinar y calentar la vivienda con leña es una práctica común y significativa. Toda acción para reducir las emisiones de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C provenientes de la combustión doméstica también tendrá que tomar en cuenta factores locales, sociales, culturales y económicos. Para subrayar la importancia de tales factores, se exponen casos de Australia y Nueva Zelanda.

Introducción

Los grupos de bajos ingresos utilizan generalmente la biomasa como fuente de energía porque es barata y fácil de obtener. En los países en desarrollo, entre 75% y 80% de la población depende de la madera y biomasa de desecho como combustible para calefacción y cocina. Además, al menos en los próximos cien años no se prevé una disminución significativa de la dependencia de la población rural mundial respecto de la biomasa como fuente de energía; algunos estudios indican que incluso puede incrementarse. En la mayoría de los casos, la biomasa de desechos agrícolas y forestales se utiliza como combustible, pero en ciertas regiones del mundo la demanda de energía del sector doméstico ha comprometido sobremanera los recursos forestales (Karve 2000).

Los métodos para cocinar que utilizan biomasa son por lo regular rudimentarios. En muchos casos, se trata simplemente de estructuras sencillas de tres piedras (es decir, un fuego abierto). No tienen chimenea ni ventilación para humo y hollín, lo que implica que cualquier persona que esté cerca inhalará

directamente cualquier emisión. La contaminación del aire en interiores (hollín y humo) derivada del uso deficiente de combustibles de biomasa en viviendas es un problema de salud pública importante. Los estudios realizados en las dos últimas décadas han demostrado que la baja calidad del aire en interiores es una de las principales causas de muerte, enfermedades respiratorias y salud deficiente en mujeres y niños de zonas rurales en países en desarrollo, así como en grupos de bajos ingresos. En la India, por ejemplo, 1,5% del total de decesos de mujeres se atribuye a enfermedades crónicas del sistema respiratorio.

La incidencia de la ceguera y tuberculosis es mayor en mujeres que utilizan cocinas tradicionales que en cualquier otro grupo de población. Varios estudios recientes apuntan hacia una correlación directa entre muerte por enfermedades en lactantes y niños y uso doméstico de madera y biomasa como combustible. (En 2003, la preocupación ante la relación entre sistemas de calefacción y cocina en países en desarrollo, y calidad del aire de interiores y salud pública motivó la formación de la Alianza Mundial para el Aire Limpio Intradomiciliario (<http://www.pciaonline.org/>, consultado en noviembre de 2006), que apoya el desarrollo de tecnologías limpias de bajo costo para aparatos de calefacción y cocina.) Además, los desechos domésticos se utilizan como combustible para cocina y calefacción, y pueden contribuir a la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C derivadas de la combustión doméstica.

1. Liberaciones de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo derivadas de la combustión doméstica

1.1 Emisiones de la combustión de combustibles fósiles y biomasa

Para la calefacción y la cocina domésticas se utiliza una gran variedad de aparatos que van desde pequeños anafres y hogares, hasta grandes estufas y hornos muy sofisticados alimentados con madera. Como cada país utiliza términos distintos (ej., estufa, calefactor), cuando sea pertinente se utilizará el término genérico “combustor” para hacer referencia a este tipo de aparatos.

Los combustibles fósiles se utilizan generalmente para calefacción doméstica, principalmente en países en desarrollo y en países con economías en transición. El carbón, combustóleo (ligero) y gas (natural) son los principales tipos de combustible fósil empleados para calefacción doméstica.

Se quema combustible fósil en aparatos diversos, desde pequeños hornos de carga manual hasta grandes calderas muy tecnificadas para la calefacción centralizada de los edificios de departamentos. Con un buen funcionamiento y mantenimiento de estos aparatos, la producción de calor se optimiza. En general, se utilizan dos tipos generales de sistemas de calefacción que se distinguen por la forma en que transportan y liberan el calor. El primero son los llamados sistemas de calefacción central, que por lo regular utilizan petróleo o gas, y emplean una unidad grande para calentar agua o aire que luego circula en el edificio liberando su calor hacia varios radiadores o ductos descentralizados. Estos sistemas modernos suelen ser muy eficientes y de combustión muy limpia y si producen residuos para eliminar, son pocos.

El segundo tipo de sistema de calefacción utiliza mayormente combustibles sólidos (carbón) y está constituido por estufas individuales que se colocan en cada habitación del edificio o se empotran en las paredes para dar acceso directo y simultáneo a varias habitaciones. Estas estufas se componen de hornos bastante pequeños, pero que proporcionan un sistema para que el aire pueda circular dentro de la estufa y alrededor del horno. Estos sistemas suelen ser más antiguos, menos eficientes y de combustión menos limpia, y pueden generar cenizas de fondo por el contenido inorgánico del combustible, que deben ser eliminadas. Algunos de estos sistemas también pueden quemar petróleo.

La combustión incompleta pueden generar la formación de dibenzoparadióxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF), que son liberados principalmente al aire. En el caso de la combustión de carbón, los residuos pueden también ser un vector potencial de liberación. La Tabla 1 presenta los factores de emisión provenientes de estudios realizados en Europa.

Tabla 1. Factores de emisión de PCDD/PCDF de la combustión de combustibles fósiles

Tipo de aparato	Factores de emisión: μg EQT/TJ de combustible fósil quemado, al aire ^a	Concentración en ng EQT/ kg de residuo de ceniza
Estufas de carbón con alto contenido de cloro	15,000	30,000
Estufas de carbón	100	5,000
Estufas de petróleo	10	ND
Estufas de gas natural	1.5	ND

ND no disponible.

a. TJ = terajulio = 1×10^{12} julio.

Fuente: UNEP 2005.

El término biomasa se emplea para describir la materia orgánica natural como madera, paja, cáscara de coco, cascarillas varias, estiércol, etc., que se utiliza como combustible para calefacción y cocina domésticas. En general, existe considerable variación e incertidumbre respecto a los factores de emisión de la combustión doméstica. A continuación se presenta un resumen de datos existentes al momento de la publicación de estas directrices clasificados por tipo de combustible y tecnología.

En Austria, se realizaron pruebas sobre emisiones de PCDD/PCDF de la calefacción residencial (Thanner and Moche 2002). La evaluación consistió en mediciones de emisiones de tres tipos de estufas de combustible sólido. Los aparatos evaluados en los experimentos fueron una estufa nueva de bajo costo que operaba con todo tipo de combustibles sólidos, una estufa de hierro fundido de coque de aproximadamente 20 años y una estufa de hierro fundido de aproximadamente 10 años. Las mediciones se realizaron con carbón y coque, así como madera; todos estos combustibles eran de la calidad habitualmente encontrada en la venta al por menor. Las muestras fueron tomadas durante un ciclo de calefacción completo, desde el encendido del fuego hasta su extinción. Se analizaron los humos para detectar PCDD/PCDF y bifenilos policlorados (PCB); se tomaron muestras de cenizas y hollín de chimenea al final de cada ciclo de calefacción y se analizó su contenido de PCDD/PCDF y PCB. Los factores de emisión se muestran en las Tablas 2 y 3.

En cenizas y hollín de chimenea se detectaron únicamente pequeñas cantidades de PCDD/PCDF y PCB formados durante la combustión de madera y combustibles fósiles; cerca de 90% de estos contaminantes estaban presentes en subproductos gaseosos y aerosoles. El resto se acumuló principalmente en el hollín, mientras que las cenizas contenían cantidades insignificantes.

Las mediciones en el terreno en condiciones normales (es decir, realistas) y con aparatos que funcionan en la vida real pueden arrojar variaciones mucho más significativas que si se usa el mismo tipo de estufa e idéntico tipo de combustible. Un proyecto realizado por una institución privada en el que se analizaron siete aparatos de calefacción alimentados con madera registró concentraciones de PCDD/PCDF de 0,09 a 9,0 ng EQT-I/MJ.

Tabla 2. Factores de emisión de PCDD/PCDF y PCB de la combustión doméstica

Combustible	PCDD/PCDF EQT (I-TEF)	PCDD/PCDF EQT (OMS)	PCB EQT (OMS)
	ng/Nm ³ (0% O ₂) ^a	ng/Nm ³ (0% O ₂)	ng/Nm ³ (0% O ₂)
Madera	0.1–2.0	0.1–2.0	0.01–0.08
Carbón	7.5–38.7	8.0–41.8	1.7–2.4
Coque	0.9–4.4	0.9–4.6	0.03–0.2

Fuente: Thanner y Moche 2002.

a. 1 ng (nanogramo) = 1×10^{-12} kilogramo (1×10^{-9} gramo); Nm³ = metro cúbico normal, volumen de gas seco medido a 0° C y 101,3 kPa.

Tabla 3. Factores de emisión de PCDD/PCDF y PCB de diversos combustibles

Combustible		PCDD/PCDF	PCB	
		EQT-I ng/MJ ^a	EQT- OMS ng/MJ	Σ Ballschmitter* ng/MJ
Madera	Mediana	n=8 0.27	n=3 0.01	n=3 65.2
	Promedio	0.32	0.01	50.3
Carbón	Mediana	n=8 8.80	n=2 0.51	n=2 64.0
	Promedio	7.74	0.51	64.0
Coque	Mediana	n=4 1.53	n=4 0.06	n=4 82.0
	Promedio	1.47	0.06	81.1

* Fuente: Thanner and Moche 2002

a. MJ = megajulio = 1×10^6 julio.

1.2. Emisiones de la combustión de combustibles mezclados y contaminados

El Inventario Europeo de Emisiones revela que la combustión doméstica de madera es una de las que más contribuye a las emisiones de PCDD/PCDF al aire (Berdowski *et al.* 1997). Aunque se ha prestado especial atención a la combustión de madera, se debería tener en cuenta que el material quemado a menudo contiene no sólo madera natural sino también madera de desecho revestida y tratada con diferentes compuestos químicos, entre ellos organoclorados. Los residuos de madera (de desecho e industrial) suelen contener diversos tipos de contaminantes (arsenato de cobre cromado, pentaclorofenol, creosota, adhesivos, resinas, pintura y otros revestimientos de superficies). También es común utilizar cualquier material combustible, incluidos los desechos (ej., textiles, caucho, plásticos, material impreso, material para embalaje, aceite de desecho, etc.).

La Tabla 4 muestra una comparación entre los factores de emisión de la combustión de madera tratada y de madera no tratada, basada en estudios realizados en diferentes países europeos. Los factores de emisión para liberaciones con residuos se expresan sobre la base de concentraciones medidas en cenizas y no tienen relación alguna con el valor calorífico del combustible.

Tabla 4. Comparación de factores de emisión de PCDD/PCDF de la combustión de madera limpia y madera contaminada

Tipo de aparato	Factores de emisión: μg EQT/TJ de biomasa quemada, al aire ^a	Concentración: ng EQT/ kg cenizas residuales
Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminadas	1.500	1.000
Estufas alimentadas con madera/biomasa vírgenes	100	10

a. TJ = terajulio = 1×10^{12} julio.

Fuente: UNEP 2005.

En los Estados Unidos se realizaron algunos estudios sobre la combustión doméstica con madera para determinar si hubo formación de PCDD/PCDF (Lavric, Konnov and De Ruyck 2004). Se analizaron raspados de hollín tomados de chimeneas de estufas de leña de las regiones central, oriental y occidental del país. El promedio total de niveles de PCDD/PCDF en material depositado en chimeneas fue de 8,3 ng/kg en la región oriental, 42,1 ng/kg en la región central y 10 ng/kg en la occidental. Esta enorme variación fue atribuida a las diferencias en el diseño de las diversas unidades y a la contaminación de la madera utilizada como combustible.

Se han detectado niveles medibles de tetraclorodibenzoparadióxinas (TCDD) en hollín de chimenea y en cenizas de fondo de horno de estufas y hogares alimentados con leña. Se ha determinado que los depósitos de chimenea de la combustión doméstica con madera contienen perfiles de congéneres de PCDD/PCDF similares a los de los gases de combustión provenientes de incineradores de desechos urbanos. Esto indica que la madera usada en aparatos de combustión doméstica puede estar altamente contaminada y que pueden estar utilizándose materiales no adecuados, por ejemplo plásticos, como fuentes combustibles.

En la Columbia Británica, Canadá, se analizó el hollín de dos estufas de madera para detectar PCDD. En el hollín de la estufa alimentada con madera impregnada de sal de una zona costera se detectaron niveles de PCDD entre 20 y 90 veces más altos que en las estufas de zonas no costeras. La concentración de PCDD en cenizas volantes aumentaba junto con la concentración de cloro (de sal marina).

Según los datos de análisis químicos realizados en Polonia, las fuentes domésticas pueden emitir gases de chimenea con una concentración de PCB 3 veces mayor que las fuentes industriales (salvo industrias manufactureras), concentraciones de hexaclorobenceno 2 veces mayores (HCB) y concentraciones de PCDD/PCDF 25 veces mayores. La causa principal de estas concentraciones elevadas de PCDD/PCDF, PCB y HCB es la co-combustión de desechos domésticos con hulla o madera, generalmente en estufas de cocina sencillas o calderas de calefacción (Lassen *et al.* 2002, 2003).

En zonas rurales o suburbanas cercanas a bosques, casas de recreo y también en zonas residenciales se practica la co-combustión de madera o carbón con desechos domésticos. Según datos estadísticos públicos, el valor de la combustión combinada de madera y turba es de 95,000 TJ, pero la contribución de ésta se considera menor. Según estimaciones periciales, cerca del 15% de la cantidad total de madera o carbón quemados se reemplaza por desechos domésticos. La cantidad total estimada de combustible contaminado es de 9,500–19,000 TJ. En Polonia, las concentraciones de PCDD/PCDF en gases de escape de chimeneas de estufas, en donde los desechos domésticos son co-incinerados, varían considerablemente entre 0.32 y 77 ng EQT-I/Nm³. Los factores de emisión respecto a la hulla se ubican entre 17 y 570 μg EQT/Mg. La emisión total anual estimada de PCDD/PCDF en Polonia a partir de fuentes domésticas se calcula de 30 a 85 g EQT-I. El perfil de distribución de masa de congéneres de PCDD/PCDF en gases de escape es similar al que registraron los gases de chimenea de incineradores de desechos.

Las emisiones provenientes de fuentes domésticas se controlan poco. La mayoría de las estufas y hogares funcionan deficientemente, con niveles de oxígeno insuficientes y baja turbulencia de los gases de combustión (por sobrecarga o alimentación con trozos de madera demasiado grandes). En estas

circunstancias, la combustión libera no sólo contaminantes gaseosos sino también contaminantes sólidos con PCDD/PCDF, lo que implica su liberación a suelos.

2. Mejores técnicas disponibles

La combustión de gran calidad y eficiente en aparatos de cocina y calefacción es muy importante para reducir la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C. Para combustores cerrados, depende principalmente de la temperatura de la cámara de combustión, turbulencia de los gases de combustión, tiempo de residencia, exceso de oxígeno y el tipo de combustible utilizado. Estos parámetros se rigen por factores como:

- Tecnología de combustión (ej., diseño de la cámara de combustión, tecnología de control del proceso)
- Condiciones de operación (ej., relación aire primario-aire secundario, distribución de las toberas de aire)
- Condición de la carga (carga total o parcial)
- Características del combustible (forma, distribución del tamaño, contenido de humedad)

Toda recomendación respecto a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para aparatos alimentados con biomasa o madera debería tener en cuenta que el uso de biomasa como combustible para cocina y calefacción seguirá siendo, durante muchos años, una práctica común en muchas comunidades de bajos ingresos y rurales. La aplicación de las directrices correspondientes para estos aparatos dependerá de diversos factores, entre ellos los socioeconómicos. Como parte de sus planes de aplicación nacionales, los países deberían realizar evaluaciones para determinar las posibles consecuencias socioeconómicas de la aplicación de cualquier norma o reglamento nuevos.

Reemplazar los aparatos de diseño deficiente por aparatos mejorados que quemen el combustible de manera más eficiente será una estrategia efectiva para reducir las liberaciones de las sustancias del Anexo C, con la ventaja adicional de mejorar la calidad del aire de interiores. Además, algunos estudios han señalado que los diseños mejorados permiten ahorrar de 50% a 80% de combustible en comparación con los diseños tradicionales. Los diseños óptimos para aparatos mejorados pueden economizar combustible, reducir la contaminación atmosférica, ser fáciles de fabricar, instalar y operar y ser asequibles para usuarios en zonas rurales. También mejorarían la seguridad pues reducirían la exposición directa a llamas y calor, y constituirían oportunidades de empleo para la fabricación, comercialización y mantenimiento de aparatos mejorados.

El diseño de aparatos mejorados también debería tener en cuenta las necesidades y preocupaciones de los usuarios. Por ejemplo, algunos estudios indican que los usuarios de aparatos mejorados se preocupan por el combustible, formas de economizarlo, emisiones de contaminantes, costo, tiempo de cocción, facilidad de operación y mantenimiento, adaptabilidad a los utensilios de cocina existentes, prácticas relativas al uso de combustible y la cocina, facilidad de encendido, control del nivel calor y seguridad de operación. Los esfuerzos para diseñar aparatos mejorados deben prestar atención a los aspectos social, cultural, científico, económico, ergonómico y de salud.

2.1 Combustibles y aparatos: Principios generales

Entre las mejores técnicas disponibles se encuentran los combustores cerrados de baja emisión con conductos de humo y uso de leña seca bien curada. En el caso de países que no exigen la reducción de gases de invernadero, también podría ser conveniente utilizar combustibles de combustión más limpia como gas licuado de petróleo, gas natural, aceite y keroseno, pero para ello se requieren aparatos que puedan utilizar estos combustibles.

Para los países o regiones en los que no se dispone de estos combustibles y aparatos, las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para la combustión doméstica consisten en asegurarse de separar los desechos domésticos del combustible a fin de evitar la quema de aquéllos en aparatos de

cocina y calefacción. Todos los países deberían evitar el uso de madera tratada o impregnada de sal marina y el uso de plásticos como material para encendido o como combustible.

Las medidas para controlar emisiones son recomendables pero no se consideran comunes para aparatos domésticos de fuego y combustión. Los grandes sistemas similares a los utilizados en procesos industriales deberían estar equipados con ciclones o filtros de tela. Hay que señalar que en algunos países existen los convertidores catalíticos, pero no se utilizan con frecuencia.

2.2 Aparatos de cocina y calefacción

En el caso de estufas y hornos particulares, se pueden reducir las emisiones utilizando dispositivos de calentamiento optimizados. Existen diferentes tipos de instalación, que varían por país en función de sus normas técnicas generales, contexto social, cultural y económico y condiciones climáticas.

La tecnología de combustión óptima debería tener las siguientes características:

- Buena mezcla de gas y aire (alta turbulencia o mezclado).
- Suficiente tiempo de residencia en la zona caliente.
- Perturbación mínima del lecho incandescente y distribución homogénea del aire primario.
- Tiempo mínimo de residencia en el rango de temperatura de 180° C a 500° C y capacidad de deposición de polvo mínima.
- La chimenea emisora debería mantenerse limpia y libre de hollín, para lo cual debe asegurarse que la combustión sea completa y realizar una limpieza periódica (por lo menos una vez al año).

3 Mejores prácticas ambientales

3.1 Aparatos de combustión y problemas potenciales

La Tabla 5 describe algunas averías típicas de los aparatos, que pueden ocasionar la liberación de contaminantes. Para los propietarios, muchas de estas averías son difíciles de detectar. El fabricante o vendedor debería proporcionar esta información al vender los aparatos. Usar los medios de comunicación también puede ser una buena estrategia de difusión de esta información entre los usuarios.

Tabla 5. Aparatos de combustión y problemas potenciales

Aparatos	Combustible	Problemas potenciales comunes
Hornos de calefacción central Calefactores de ambiente Hogares	Gas natural o gas licuado de petróleo	Fisuras en intercambiador de calor Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Ducto de escape defectuoso/tapado Quemador mal ajustado
Hornos de calefacción central	Petróleo	Fisuras en intercambiador de calor Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Ducto de escape defectuoso/tapado Quemador mal ajustado
Calentadores centrales Calefactores de ambiente	Madera	Fisuras en intercambiador de calor agrietado Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Ducto de escape defectuoso/tapado

Aparatos	Combustible	Problemas potenciales comunes
		Madera verde o tratada
Hornos de calefacción central Estufas	Carbón	Fisuras en intercambiador de calor Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Parrila defectuosa Ducto de escape defectuoso/tapado Carbón de baja calidad Combustible con alto contenido de humedad
Cocina Hornos	Gas natural o gas licuado de petróleo	Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Quemador mal ajustado Uso indebido como calefactor de ambiente
Calefactores de ambiente Calentadores centrales	Keroseno	Equipo mal ajustado Combustible incorrecto (si no es K-1) Mecha o altura de la mecha incorrectas Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible
Estufas Hogares	Madera Carbón	Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Ducto de escape defectuoso/tapado Madera verde o tratada Fisuras en intercambiador de calor o cámara de combustión Combustible inadecuado como desechos domésticos
Calentadores de agua	Gas natural o gas licuado de petróleo	Falta de aire para quemar adecuadamente el combustible Ducto de escape defectuoso/tapado Quemador mal ajustado

Fuente: CPSC 2004.

3.2 Ventilación

Para reducir la contaminación del aire en interiores, es importante que el aire entre y salga de la vivienda porque esto ayuda a reducir el nivel de contaminantes nocivos en interiores expulsándolos por la chimenea y ductos de escape. Así se garantiza también el aire necesario para una combustión adecuada y con ello se reducen los niveles de contaminantes.

Se puede mejorar la ventilación de la siguiente manera:

- Instalación de campanas extractoras sobre las estufas.
- Asegurándose de que haya suficiente flujo de aire en la vivienda cuando se utilice un ventilador aspirador (ej., entreabriendo una puerta o ventana, sobre todo si se utilizan al mismo tiempo otros aparatos).
- Para el debido funcionamiento de la mayor parte de los aparatos de combustión y sus sistemas de ventilación, la presión de aire dentro de la vivienda debería ser mayor que en el exterior.

De no ser así, los aparatos de ventilación podrían liberar los contaminantes de combustión en el interior de la vivienda en lugar de expulsarlos.

- Asegurándose de que el tubo del aparato de ventilación esté conectado, que nada lo bloquee y que no tenga orificios ni fisuras.
- Abrir el regulador de tiro de la estufa o calefactor cuando se introduce la leña permite el paso de más aire hacia el aparato. Esto ayuda a que la madera se queme adecuadamente y evita que los contaminantes queden atrapados en la vivienda en vez de salir por la chimenea. Cuando se está utilizando una estufa de madera, el humo visible, un constante olor a humo en el interior de la vivienda o incluso la deposición de hollín en muebles son signos de que ésta no está funcionando correctamente. El humo y el hollín son indicios de que la estufa está liberando contaminantes en el aire al interior del inmueble.

En ningún caso deberían utilizarse calefactores o estufas sin ventilación en habitaciones donde se duerme, ya que se puede provocar la exposición a niveles peligrosos o mortales de monóxido de carbono.

3.3 Inspección y mantenimiento

Los aparatos de combustión deberían ser inspeccionados y recibir mantenimiento periódicamente (Tabla 6) a fin de reducir la exposición a contaminantes. Es importante limpiar las chimeneas y tubos de ventilación, sobre todo al cambiar los sistemas de calefacción.

Tabla 6. Programa para la inspección y el mantenimiento

Aparato	Inspección		Mantenimiento	
	Tareas	Frecuencia	Tareas	Frecuencia
Sistema de calefacción de aire a base de gas	Filtros de aire: limpiar/cambiar los filtros. Inspección de herrumbe u hollín en los ductos de escape.	Mensual, cuando sea necesario Anual	Operario calificado verifica/limpia la chimenea, limpia/ajusta los quemadores, inspecciona el intercambiador de calor y su operación.	Anual (al inicio de la temporada de calefacción).
Sistemas de calefacción de gas/petróleo agua/vapor y calentadores de agua	Inspección de herrumbe u hollín en los ductos de escape.	Anual	Operario calificado verifica/limpia la chimenea, limpia la cámara de combustión, ajusta los quemadores, verifica su operación.	Anual (al inicio de la temporada de calefacción).
Calentadores de keroseno	Verificar que la camisa esté bien asentada. Verificar que el depósito de combustible no tenga agua o contaminantes.	Diaria, cuando se utilicen Diaria o antes de agregar el combustible	Verificar y remplazar la mecha. Limpiar la cámara de combustión. Drenar el depósito de combustible.	Anual (al inicio de la temporada de calefacción). Anual (al inicio de la temporada de calefacción). Anual (al final de la temporada de calefacción).

Aparato	Inspección		Mantenimiento	
	Tareas	Frecuencia	Tareas	Frecuencia
Estufas de madera/carbón y calderas y hornos domésticos	Inspección de herrumbre u hollín en los ductos de escape.	Mensual	Operario calificado verifica/limpia la chimenea, verifica uniones y juntas, verifica su operación.	Anual (al inicio de la temporada de calefacción).

Fuente: CPSC 2004.

3.4 Uso correcto de los aparatos y el combustible

Es importante comprender y seguir las instrucciones de operación de todos los aparatos y emplear el tipo de combustible recomendado.

Cuando sea posible, se debería utilizar maderas duras curadas (y no maderas blandas) en estufas y hogares de leña. Las maderas duras arden a mayor temperatura y forman menos creosota (un alquitrán aceitoso y negro que se adhiere a las chimeneas y ductos de estufas, presentando peligro de incendio).

Debería evitarse por completo el uso de madera verde, húmeda o impregnada de sal marina. La madera verde y/o húmeda arde con menos eficiencia y puede aumentar las emisiones de PCDD/PCDF. Los estudios comparativos entre madera de zonas costeras y madera de zonas no costeras han demostrado además que, al arder, la madera impregnada de sal marina tiene un contenido más elevado de cloro y emite más PCDD/PCDF (ver también la sección 1.2).

Nunca se debe utilizar madera de desecho pintada ni madera tratada con agentes conservadores porque este material puede liberar contaminantes muy tóxicos, entre ellos los del Anexo C.

Es importante evitar alimentar los aparatos con desechos que contienen un nivel elevado de cloro o bromo, ya sean inorgánicos, como las sales, u orgánicos halogenados, como PVC (Lemieux *et al.* 2003). Con todo, la co-incineración de desechos en aparatos alimentados con combustibles sólidos es una práctica común, a la que habría que poner freno con campañas de sensibilización y medidas de política (ver subsección 3.5 *infra*). Muchos estudios indican que la combustión de cloro contenido en desechos como PVC ocasiona una mayor formación no intencional de contaminantes orgánicos persistentes, tal como se muestra en la Tabla 7 (Gullett *et al.* 1999). Se podría instrumentar una normativa que especifique los combustibles regulares. Lo mismo cabe decir de combustibles como madera tratada, aceite de desecho, aceite de transformadores, plásticos y otros desechos combustibles.

Tabla 7. Relación entre factores de emisión de PCDD/PCDF y contenido de PVC en el material quemado

Contenido de PVC	[%]	0	0.2	1	7.5
Factor de emisión promedio	EQT-I/kg [ng]	14	80	200	4,900
Rango	EQT-I/kg [ng]	2 - 28	9 - 150	180 - 240	3,500 - 6,700

Fuente: Gullett *et al.* 1999

3.5 Programas de educación, sensibilización y capacitación

Por lo regular, las emisiones de otros contaminantes (como partículas finas o monóxido de carbono) obligan a emprender esfuerzos de reglamentación para mejorar las emisiones de la combustión doméstica. Los programas de educación, sensibilización y capacitación para mejorar el conocimiento de las mejores prácticas relativas a las sustancias del Anexo C deberían ser un elemento importante de tales esfuerzos (véase los estudios de caso en el Cuadro I anexo a la presente sección).

La participación de comunidades locales en todo programa de educación y sensibilización asegura que sean concretos y útiles. He aquí los componentes clave de un programa efectivo:

- Educación y sensibilización sobre el uso correcto de combustibles. Los factores importantes que hay que considerar son:
 - Uso de madera seca bien curada, que reducirá las liberaciones de PCCD/PCDF y también puede generar hasta 40% más de calor.
 - Uso de combustibles de combustión más limpia, como gas natural, para reducir las liberaciones de las sustancias del Anexo C.
 - Inconveniencia de quemar desechos domésticos como combustibles para estos aparatos.
 - Funcionamiento eficiente de los aparatos que garantice la combustión completa del combustible.
- Información sencilla y fácil de comprender sobre los efectos en la salud humana y el medio ambiente de las sustancias del Anexo C, y sobre la importancia de las liberaciones a partir de fuentes domésticas.
- Programas para los compradores, vendedores, y operadores de aparatos de combustión domésticos en los que se haga hincapié en las cuestiones mencionadas en las subsecciones 3.1 al 3.4.

3.6 Gestión de la combustión doméstica

La combustión completa del combustible es importante para garantizar emisiones bajas y un funcionamiento eficiente del aparato. Esto se puede lograr de la siguiente manera:

- Temperatura de combustión suficiente
- Flujo de aire que proporcione suficiente oxígeno para la combustión
- Evitar la carga excesiva de combustible (más del que puede quemarse con eficiencia)
- Suficiente mezcla de aire y gases calientes producidos por el fuego

Las medidas específicas para lograr los resultados deseados son:

- Combustible de buena calidad, seco
- Recolección y curado de la madera para asegurarse de que esté seca al arder
- Garantizar un flujo de aire adecuado (por ej., impedir que trozos de madera bloqueen el aire entrante)
- Suficiente espacio en la caja de combustión para lograr un flujo de aire óptimo

3.7 Gestión de las liberaciones hacia otros medios

El aire es el principal medio hacia el que la combustión doméstica emite las sustancias químicas del Anexo C. Se liberan cenizas y hollín que, si provienen de la combustión de madera o biomasa limpia, no contienen sino pequeñas cantidades de estos compuestos. Se pueden utilizar sin riesgo cantidades mínimas de ceniza como fertilizante, mientras no sean esparcidas siempre en el mismo lugar. Las cantidades más grandes deberían depositarse en un relleno sanitario.

4 Aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales

En la mayoría de los casos, los usuarios finales de aparatos de combustión mejorados saben poco o nada de los efectos adversos en la salud y el medio ambiente de las sustancias del Anexo C. Una mayor sensibilización sobre las preocupaciones puede contribuir a fomentar el manejo efectivo de estos aparatos, y al mismo tiempo impedir prácticas como el uso de desechos domésticos como combustible. Los gobiernos deberían incluir en sus programas de capacitación y sensibilización información sobre los impactos de las liberaciones de las sustancias del Anexo C provenientes de aparatos domésticos de combustión, tales como estufas, hornos y otros artefactos.

En Atikullah S.M. y Eusuf M. (2003) se tratan las posibles opciones y obstáculos para la aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales. Se encuentran resumidos en la Tabla 8.

Tabla 8. Posibles opciones y obstáculos para la aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para aparatos de combustión domésticos

Obstáculos	Opciones para la aplicación efectiva de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales
Incompatibilidad entre el diseño del aparato y los tipos de combustibles disponibles y utilizados	El diseño del aparato debería responder a las necesidades de la comunidad. Antes de aplicar cualquier modelo de aparato, se deberían evaluar con detalle las necesidades de la comunidad.
Falta de sensibilización ciudadana sobre tecnologías mejoradas	Los gobiernos y comunidades deberían emplear los medios adecuados (ej., medios de comunicación, campañas de sensibilización) para dar a conocer y divulgar los sistemas mejorados. Los programas de capacitación a nivel comunitario son importantes para asegurar el empleo adecuado de los aparatos y eliminar el uso potencial de combustibles inapropiados como desechos domésticos
Falta de capacidad local para dar mantenimiento y reparar aparatos mejorados	Es importante poner en marcha programas de capacitación para establecer capacidad relativa al mantenimiento y reparación de aparatos
Falta de recursos para adquirir, operar y dar mantenimiento a aparatos	La población de escasos recursos se interesará en adquirir aparatos mejorados sólo si está convencida de que no serán un carga económica adicional y de que su mantenimiento y uso son rentables
Conocimientos insuficientes sobre efectos en la salud de las sustancias químicas del Anexo C y otros contaminantes	Sensibilizar sobre los posibles efectos de la contaminación atmosférica en interiores para la salud (incluidas las sustancias químicas del Anexo C) por el uso inapropiado de aparatos domésticos para calefacción y cocina y combustibles

En el apartado sobre referencias figuran otras fuentes de información sobre quema limpia y diseño mejorado de estufas de madera.

Cuadro 1 Sensibilización y educación: estudios de caso

Aunque los enfoques normativos que aquí se exponen tienen como finalidad la reducción de partículas, presentan importantes co-beneficios para la reducción de PCDD/PCDF que pueden formarse por combustión incompleta. La reducción de emisiones de partículas reducirá al mismo tiempo las emisiones de PCDD/PCDF ya que estos compuestos se adsorben a las partículas.

Caso 1: Nueva Zelanda

La contaminación urbana por las emisiones provenientes de la combustión doméstica de madera es un problema generalizado. En Nueva Zelanda, muchos pueblos y ciudades experimentan una baja calidad del aire en invierno por las emisiones de los sistemas domésticos de calefacción. No es excepcional que se rebasen los niveles de la norma ambiental nacional para partículas finas en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (como promedio en un período de 24 horas), y en algunas áreas sucede más de 30 días por año. Este problema puede contribuir a las emisiones nacionales de PCDD/PCDF, y es de carácter histórico por la falta de aislamiento en las casas, que es resultado de la abundancia de madera y carbón (en muchos casos gratuitos). Se trata de consideraciones socioeconómicas importantes para las autoridades locales encargadas de reducir la contaminación atmosférica.

En cuatro pequeñas poblaciones de Nueva Zelanda se emprendió una campaña de sensibilización sobre emisiones de la combustión doméstica entre 2005 y 2006. Una de las conclusiones clave de la campaña fue la importancia de adecuar las soluciones a las características de cada comunidad local (evitando soluciones genéricas, del tipo “talla única”). Se requirió la participación de actores clave, como profesionales del sector salud comunitario y fundaciones y logró crear sinergias positivas para la acción y sensibilización de la comunidad.

Caso 2: Tasmania, Australia

En muchas partes del sur de Australia las estufas de madera se usan comúnmente para calentar los hogares. En Launceston, Tasmania (cuya población es de aproximadamente 10,000 personas), se rebasó en promedio 14 veces la norma mensual invernal para partículas finas del país, sobre todo por las emisiones provenientes de estas estufas.

En 2001 se introdujo un programa de sustitución de estufas de madera para mejorar la calidad del aire. A partir de ese momento aproximadamente 25% de las estufas de madera han sido retiradas gracias a incentivos económicos para reemplazar las antiguas estufas de madera contaminantes por aparatos más limpios. Se emprendió, al mismo tiempo, una campaña de educación específica para la comunidad (sitio Web de Launceston Air Quality), así como una norma que limitó a 4 g/kg las emisiones de partículas de las nuevas estufas (emisión/kilogramo de madera quemada).

Un estudio en 2005 concluyó que el programa aceleró el abandono de las viejas estufas de madera y contribuyó a mejorar la calidad del aire. Aunque no existan datos al respecto, es posible que haya habido una reducción de las emisiones de dioxinas. En 2006, por primera vez, Launceston no rebasó la norma australiana para partículas finas.

Referencias

- Atikullah S.M. and Eusuf M. 2003. "Biomass Crisis and Improved Stoves in Bangladesh." *Renewable Energy Newsletter* 1:2. Bangladesh Centre for Advanced Studies, Dhaka.
- Berdowski J.J.M., Baas J., Bloos J.P.J., Visschedijk A.J.H. and Zandveld P.Y.J. 1997. *The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 104 02 672/03. TNO, Apeldoorn, Netherlands.
- CPSC (Consumer Product Safety Commission). 2004. *What You Should Know about Combustion Appliances and Indoor Air Pollution*. CPSC Document 452. www.cpsc.gov/CPSCPUB/PUBS/452.html.
- Gullet *et al* 1999, Organohalogen and Compounds Vol.41, 157-168, 1999.
- Karve P. 2000. *International Conference on Biomass-Based Fuels and Cooking Systems (BFCS-2000): A Report*. solstice.crest.org/discussiongroups/resources/stoves/Karve_Conference/BFCSrprt.htm.
- Lassen C. *et al*. 2002. *Inventory of Dioxin and Furan Releases in Poland*. Report by Danish Cooperation for the Environment in Eastern Europe (DANCEE) and Ministry of the Environment Poland.
- Lassen C., Hansen E., Jensen A.A., Olendrzyński K., Kołsut W., Żurek J., Kargulewicz I., Dębski B., Skośkiewicz J., Holzer M., Grochowalski A., Brandt E., Poltimae H., Kallaste T. and Kapturauskas J. 2003. "Survey of Dioxin Sources in the Baltic Region." *Environ. Sci. Pollut. Res.* 10:49–56.
- Launceston Air Quality. www.launceston.tas.gov.au/airquality.php.
- Lavric E.D., Konnov A.A. and De Ruyck J. 2004. "Dioxin Levels in Wood Combustion: A Review." *Biomass and Bioenergy* 26:115–145.
- PCIA (Partnership for Clean Indoor Air). www.pciaonline.org/.
- RWEDP (Rural Wood Energy Development Programme in Asia). www.rwedp.org/p-stoves.html.
- Thanner G. and Moche W. 2002. *Emissions of Dioxins, PCBs and PAHs from Domestic Heating*. Monographs Vol. 153. Federal Environmental Agency, Vienna, Austria.
- 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.

Otras fuentes

- Government of Australia. 2004. *Hot Tips for Cleaner Wood Heating*. Natural Heritage Trust, Australia.
- Pfeiffer F., Struschka M., Baumbach G., Hagenmaier H. and Hein K.R.G. 2000. "PCDD/PCDF Emissions from Small Firing Systems in Households." *Chemosphere* 40:225–232.
- Design principles of wood burning cookstoves, PCIA website (Nov. 2006)
http://www.pciaonline.org/assets/20060710-Design_Principles_ES.pdf
- Biomass Energy Technology, http://www.rwedp.org/d_technodc.html (Nov. 2006).