

Actividades de Preparación del Plan Nacional de Implementación (PNI) de la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) y de los Planes de Acción Nacional sobre Lindano, Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno



***Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana,
Regional y Global
Instituto Nacional de Ecología
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales***

Noviembre, 2003.

ÍNDICE

CAPITULO I	1
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Objetivos del Estudio</i>	<i>1</i>
CAPÍTULO II	3
PROPIEDADES Y GENERACIÓN DE HEXACLOROBENCENO	3
<i>Propiedades Químicas y Físicas</i>	<i>3</i>
<i>Isómeros del Hexaclorobenceno</i>	<i>3</i>
CAPITULO III	7
FUENTES DE HEXACLOROBENCENO	7
<i>Principales Fuentes</i>	<i>7</i>
<i>Formación de HCB a Partir de Incineración, Pirólisis y Ataque de Radicales</i>	<i>8</i>
<i>Generación de COPs Durante la Producción de Policloruro de Vinilo (PVC)</i>	<i>9</i>
CAPÍTULO IV	11
DINÁMICA Y DISTRIBUCIÓN DEL HEXACLOROBENCENO EN EL AMBIENTE	11
<i>Persistencia.....</i>	<i>11</i>
<i>Transporte Físico</i>	<i>12</i>
<i>Dinámica en Suelos</i>	<i>13</i>
<i>Dinámica en Agua.....</i>	<i>14</i>
<i>Dinámica en Aire.....</i>	<i>15</i>
<i>Dinámica del HCB en los Organismos.....</i>	<i>15</i>
CAPÍTULO V	17
PELIGROSIDAD Y RIESGO DEL HEXACLOROBENCENO	17
<i>Dimensión del Problema.....</i>	<i>17</i>
<i>Vías Principales de Exposición en Seres Humanos.....</i>	<i>17</i>
<i>Niveles de HCB en Tejidos y Fluidos Humanos</i>	<i>18</i>
<i>Exposición Potencial de Poblaciones Humanas.....</i>	<i>20</i>
<i>Principales Hallazgos Toxicológicos en Estudios de Laboratorio</i>	<i>21</i>
CAPÍTULO VI	28
PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN Y TRANSPORTE A GRANDES DISTANCIAS DE HEXACLOROBENCENO EN AMÉRICA DEL NORTE.....	28
<i>Antecedentes</i>	<i>28</i>
<i>Situación de Estados Unidos.....</i>	<i>30</i>
<i>Situación de Canadá.....</i>	<i>33</i>
<i>Situación de México.....</i>	<i>34</i>
<i>Resumen de Fuentes Potenciales de Hexaclorobenceno en México</i>	<i>43</i>
RECOMENDACIONES DEL PNUMA-GEF RESPECTO A LAS SUSTANCIAS TÓXICAS PERSISTENTES QUE SE LIBERAN EN AMÉRICA DEL NORTE	45
<i>Recomendaciones Generales Para los Tres Países de América del Norte: Canadá, Estados Unidos y México.....</i>	<i>45</i>
<i>Recomendaciones Particulares para México</i>	<i>46</i>

ANEXO 1	47
ANEXOS DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO	47
ANEXO 2	49
CONVENIO DE ESTOCOLMO	49
ANEXO 3	51
GENERACIÓN DE COPs EN LA COMBUSTIÓN NO-CONTROLADA O A CIELO ABIERTO.....	51
ANEXO 4	52
INSTRUMENTAL NORMALIZADO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LIBERACIONES DE DIOXINAS Y FURANOS DEL PNUMA.....	52

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes

El hexaclorobenceno se encuentra entre los agentes químicos clasificados como contaminantes orgánicos persistentes (COP) que presentan propiedades que les confieren un carácter prioritario en el contexto de las políticas nacionales e internacionales relativas a la prevención y reducción de sus riesgos a la salud y el ambiente.

Por lo antes expuesto, y en el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, suscrito por México, Canadá y Estados Unidos en 1994, y de la Resolución No. 95-5 del Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), adoptada en 1995, México convino en formular un Plan de Acción Nacional para reducir o eliminar la liberación al ambiente de Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno.

A su vez, México suscribió y ratificó (en 2001 y 2002 respectivamente) el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, que establece disposiciones relativas a la reducción o eliminación de la liberación al ambiente de subproductos no intencionales que son COPs, como las dioxinas, los furanos y el hexaclorobenceno, por las fuentes consideradas en las Partes II y III del Anexo C del citado Convenio (ver anexos de este documento).

1.2. Objetivos del Estudio

Objetivo General

Aportar a la Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global (DGICURG), del Instituto Nacional de Ecología (INE), los elementos de información necesarios para sustentar la formulación del Plan Nacional de Implementación (PNI) del Convenio de Estocolmo y la elaboración del Plan de Acción Nacional que se desarrollará para dar cumplimiento a la Resolución No. 95-5 del Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), en lo que se refiere a la reducción o eliminación de la liberación al ambiente de Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno.

Objetivos Específicos.

1. Formular una estrategia para lograr el objetivo general de este proyecto, con base en los análisis de las guías y procedimientos para elaborar inventarios sobre contaminantes orgánicos persistentes y determinar las implicaciones socio-económicas de la implantación de los planes de acción para su eliminación,

desarrollados en el marco de los Convenios de Estocolmo y de Cooperación Ambiental de América del Norte.

2. Actualizar la información de la que dispone la DGICURG acerca del Hexaclorobenceno.
3. Analizar y comentar los datos obtenidos acerca de las fuentes y volúmenes de emisión de dioxinas y furanos utilizando como marco de referencia el instrumento (tool kit) desarrollado por el PNUMA para elaborar los inventarios correspondientes.
4. Formular un inventario preliminar de fuentes de Hexaclorobenceno, utilizando como base el procedimiento recomendado por el PNUMA.
5. Determinar las disposiciones legales en las que se basa la regulación y control de Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno y analizar sus alcances y limitaciones.

CAPÍTULO II

PROPIEDADES Y GENERACIÓN DE HEXACLOROBENCENO

Propiedades Químicas y Físicas

El hexaclorobenceno o perclorobenceno pertenece al grupo de compuestos orgánicos del tipo cíclico aromático y no se encuentra de manera natural. Al ser un compuesto aromático comparte todas las características comunes entre ellos, entre las que se encuentran:

- Son moléculas cíclicas.
- Efectúan reacciones de sustitución
- Presentan resonancia y son estables
- La geometría es octagonal y plana.

Algunas de las propiedades físicas y químicas del hexaclorobenceno (HCB) se mencionan en el Cuadro 1. A temperatura ambiente, el HCB adopta forma cristalina de color blanco, es virtualmente insoluble en agua pero es soluble en éter, benceno y cloroformo. Tiene un gran coeficiente de solubilidad en octanol/agua, presión de vapor bajo y baja flamabilidad.

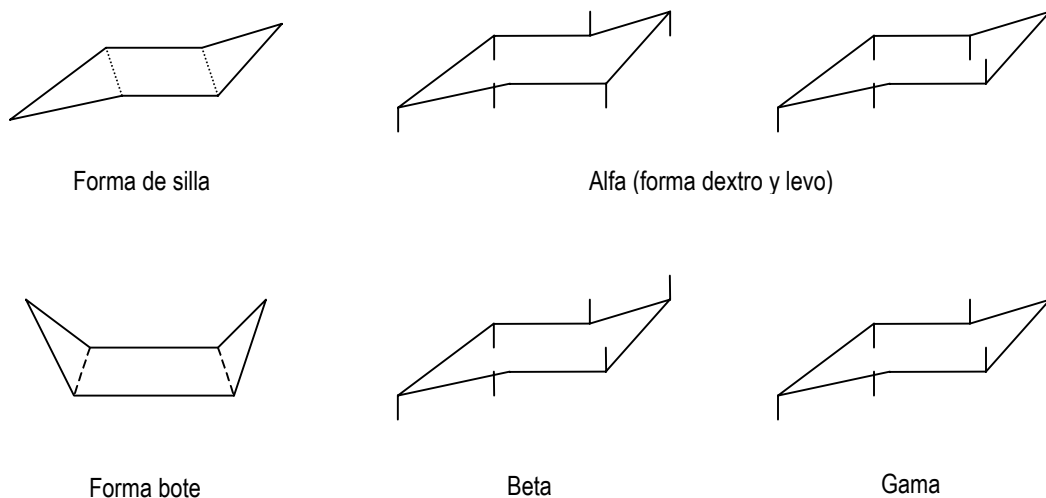
Cuadro 1. Propiedades Físicas y Químicas del Hexaclorobenceno

Propiedad	Valor
Masa molecular relativa	284.79
Punto de fusión	230
Punto de ebullición	322
Densidad (g/cm ³ a 20 °C)	1.5691
Presión de vapor (a 25 °C)	0.0023
Log Coeficiente de partición octanol/agua	5.5
Solubilidad en agua (mg/l a 25 °C)	0.005
Constante de Ley de Henry (Pa/mol por m ³)	131
Factores de conversión	1 ppm= 11.8 mg/m ³
	1 mg/m ³ = 0.08 ppm

Isómeros del Hexaclorobenceno

Tal y como se produce ordinariamente, el hexaclorobenceno es una mezcla de isómeros. Dependiendo de que los diversos átomos de cloro estén orientados hacia uno u otro lado del anillo de seis carbonos, es posible la formación de ocho isómeros, uno de los cuales puede existir en las formas dextrógira y levógira. Teniendo en cuenta la posibilidad de que las formas en “*bote*” y en “*silla*” no son interconvertibles, a causa del gran volumen de átomos de cloro (Figura 1). Sin embargo, la consideración de las tensiones indica que probablemente sólo pueden existir cinco isómeros (ver Cuadro 2).

Figura 1. Estructura y orientación de los átomos de cloro en los isómeros de hexaclorobenceno

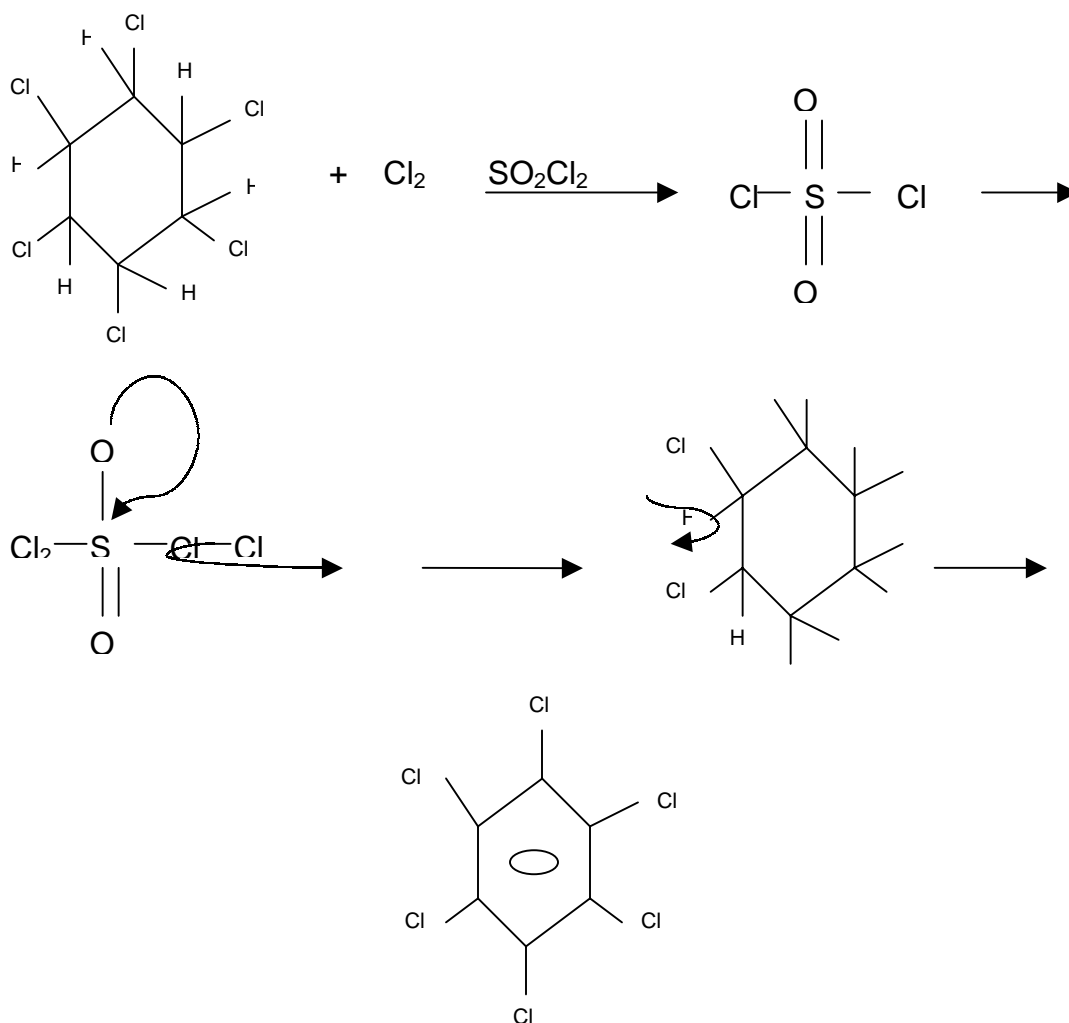


Cuadro 2. Congéneres e isómeros del hexaclorobenceno

Término/Símbolo	Definición
Congéneres	Cualquier compuesto que pertenece a la misma familia química.
Grupo de congéneres	Grupos de compuestos relacionados por el mismo grado de cloración.
Isómeros	Sustancias que pertenecen al mismo grupo de congéneres
Isómero específico	Denotado por una nomenclatura química específica.
D	Símbolo para la clase de congéneres: dibenzo-p-dioxina
F	Símbolo para la clase de congéneres: dibenzofurano
M	Símbolo de mono- que contiene una sustitución con halógeno
D	Símbolo de di- con dos halógenos sustituyendo
Tr	Símbolo de tri- con tres halógenos
T	Símbolo de tetra- con cuatro halógenos
Pe	Símbolo de penta- con cinco halógenos
Hx	Símbolo de hexa con seis halógenos
Hp	Símbolo de hepta con siete halógenos
O	Símbolo de octa con ocho halógenos
CDD	Cloro dibenzodioxina, con halógeno en posición de sustitución
CDF	Cloro dibenzofuranos, con halógenos en sustitución
HPC	Compuestos cíclicos denominados bifenilos policlorados
HCB	Compuesto cíclico denominado hexacloro benceno con seis cloros en posición de sustitución

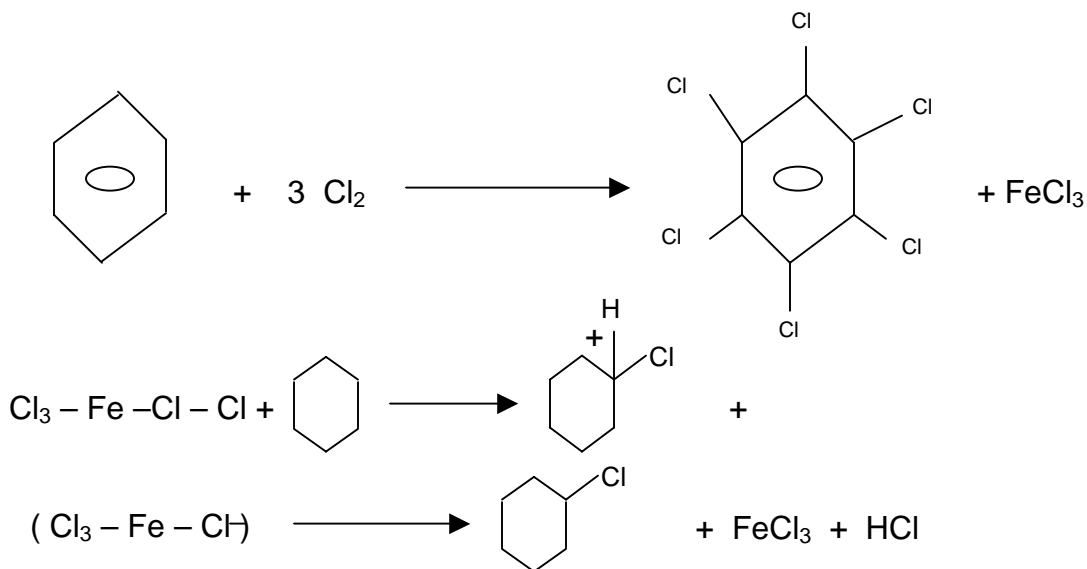
Las propiedades fisicoquímicas de cada congénere pueden variar en función del grado de halogenación en el anillo bencénico del compuesto. El conocimiento de los efectos ambientales y de toxicidad de cada congénere de HCB se ha obtenido de manera individual y no se tiene conocimiento preciso sobre las toxicidades de mezclas de HCB, ya sea con cloro o con bromo.

Figura 2. Mecanismo de formación del hexaclorobenceno



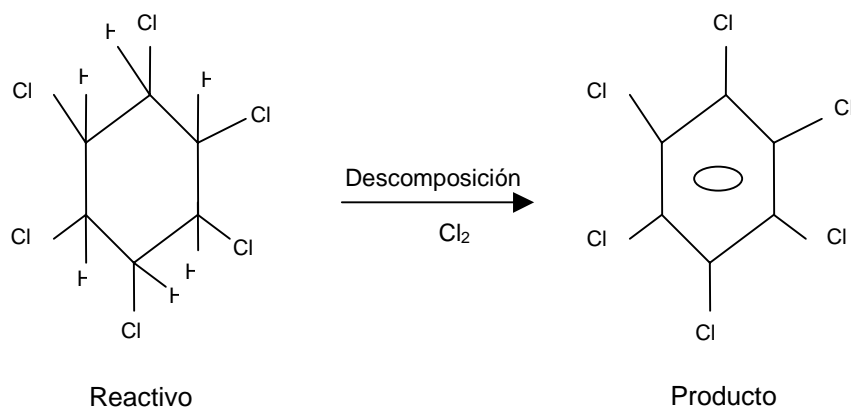
Para la realización del proceso de formación del hexaclorobenceno, es necesaria la participación del clorobenceno y la presencia de un catalizador como el cloruro férrico (FeCl_3) para acelerar la cloración y llegar a formar el monoclорobenceno, lo cual se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Factores que intervienen en el proceso de formación de hexaclorobenceno



El benceno se encuentra en el medio ambiente tanto como consecuencia de la actividad humana como por procesos naturales. Diversas industrias lo emplean para fabricar otros compuestos químicos y como ciclohexano para preparar la caprolactama que es la materia prima para la fabricación del nylon (fibra sintética). En la Figura 4 se muestra el proceso de descomposición del hexaclorociclohexano.

Figura 4. Descomposición del hexaclorociclohexano



Fuente: Gerhartz, W. Ullmann's Enciclopedia of industry Chemistry. 5ª edition Vol. A1, 1995

CAPITULO III

FUENTES DE HEXACLOROBENCENO

Principales Fuentes

El hexaclorobenceno (HCB) no existe de manera natural, por lo tanto su generación o producción es a partir de distintos procesos industriales.

Cuadro 3. Denominación, antecedentes y fuentes de hexaclorobenceno

Nombre químico	Hexaclorobenceno (C ₆ H ₆)
Número CAS (Chemical Abstract Service)	118-74-1
Descubrimiento/Usos	Se introdujo en 1945 como fungicida para tratamiento de semillas de cultivos agrícolas y empleó en la fabricación de fuegos artificiales, municiones y hule sintético. En la actualidad es principalmente un subproducto de la producción de una gran variedad de compuestos clorados, particularmente los bencenos clorados, solventes y varios plaguicidas. El HCB se emite a la atmósfera en el flujo de gases generados durante la incineración de residuos y por las industrias metalúrgicas.

Fuente: UNEP. Chemicals. North America Regional Report. Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. GEF. Diciembre 2002.

El producto plaguicida de grado técnico del HCB contiene aproximadamente 98% de HCB, 1.8% de pentaclorobenceno y 0.2% 1,2,4,5-tetraclorobenceno, así como una gran variedad de impurezas incluyendo hepta y octaclorodibenzofuranos, p-octaclorodibenzodioxinas y decaclorobifenilo.

Fuentes de generación de subproductos no intencionales que son COPs y se liberan al medio ambiente:

- **Fuentes de Combustión:** son aquellos procesos operados para la incineración de residuos (basuras municipales, residuos médicos, residuos peligrosos), combustión de varios tipos de combustibles (por ejemplo, hornos cementeros).
- **Procesos Metalúrgicos y de Refinación de Metales** Las operaciones de fundición y refinación de metales primarios y secundarios que incluyen procesos de sinterización de hierro, siderurgia de acero y recuperación de metales a partir de chatarra.
- **Producción de Materias Primas Químicas** Se conoce que el HCB es generado como subproducto y residuo durante la fabricación de pulpa de papel blanqueada con gas cloro, fabricación de fenoles clorados (por ejemplo, pentaclorofenol PCP ó PCF), fabricación y destrucción térmica de los bifenilos policlorados (BPC's ó PCB's), herbicidas fenólicos (por ejemplo, 2,4,5-T) y de la fabricación de compuestos alifáticos clorados (por ejemplo, dicloruro de etileno). Algunos de estos procesos de producción no se realizan en México, por tal motivo no se incluyen en este trabajo.

- **Reservorios:** son entornos naturales que contienen hexaclorobenceno (HCB) previamente depositado en el ambiente y que tienen el potencial de redistribuir y circular estos compuestos tóxicos nuevamente al ambiente. Los reservorios potenciales incluyen suelos, sedimentos, vegetación y materiales acondicionados (por ejemplo, madera para construcción impregnada con pentaclorofenol).

Cuadro 3. Ejemplos de fuentes de liberación no intencional de hexaclorobenceno

- Producción de percloroetileno y de tetracloruro de carbono,
- Derivados o materiales contenidos en residuos de la producción de tetracloroetileno y tiicloroetileno.
- Derivados o materiales contenidos en residuos de solventes clorados y dimetil tetraclorotereftalato,
- Instalaciones industriales donde se producen quitoceno y tecnaceno utilizados en la elaboración de pinturas.
- Instalaciones de producción de cloro por electrólisis de un cloruro alcalino con electrodo de grafito.
- Transformación o fabricación de caucho industrial.
- Fabricación de productos pirotécnicos, clorato de sodio y de aluminio.
- Elaboración de plásticos a base de Cloruro de Polivinilo (PVC), y como agente para suspensión coloidal en la fabricación de caucho nitroso y de estireno.
- Fabricación de plaguicidas clorados, como el dactal, clorotalonil, piclorán, simazina, atrazina, mirex, propazina y pentacloronitrobenceno
- Producción de carbón y acero.
- Fundiciones de aluminio.
- Sitios para la disposición de desechos peligrosos.
- Servicios municipales y plantas de tratamiento de agua residuales.

Formación de HCB a Partir de Incineración, Pirólisis y Ataque de Radicales.

Procesos de oxidación térmica o de pirólisis

La incineración mediante oxidación térmica demanda que exista un exceso de aire durante el proceso de combustión. Por el contrario, la pirólisis es un proceso de degradación térmica donde la materia orgánica es descompuesta o bien reacciona químicamente en ausencia o déficit de oxígeno.

El tratamiento térmico de residuos se efectúa en un proceso constituido por dos etapas bien diferenciadas: en la primera etapa, el residuo se somete a la acción térmica, separando los componentes volátiles (gases combustibles, vapor de agua, etc.) del carbón no volátil y cenizas. En la segunda etapa, los compuestos volátiles son quemados en condiciones tales que aseguren una eficiencia de destrucción del 99,99%. Los procesos tradicionales que utilizan el exceso de oxígeno, son procesos exotérmicos (con liberación de calor) y operan a temperatura más altas que los pirolíticos. La temperatura es controlada por el ajuste del caudal de residuo a tratar y por la cantidad de aire de combustión. Este control es difícil y a menudo la temperatura del horno escapa de los límites operativos.

La pirólisis es un proceso endotérmico, que proporciona mejores condiciones de control del proceso de combustión y permite lograr productos residuales más limpios. Los hornos están

conformados por una cámara de pirólisis, un reactor térmico y una chimenea, además incorporan dos quemadores y un cuarto de control.¹

Ataque de radicales

Se trata de un proceso químico complejo que se produce a altas temperaturas de la llama en el que puede ocurrir:

- Combustión completa con oxidación total.
- Destrucción no total, con posible escape de gases provenientes de la pirólisis que pueden ser peligrosos.

Dado lo anterior, cualquier planta que se dedique a la incineración de residuos, debe de optimizar su función para minimizar los productos de pirólisis.

En estudios recientes en la identificación de clorobencenos, clorofenoles y dioxinas/furanos se han encontrado cantidades del orden de partes por billón (ppb). La detección se lleva cabo tanto en emisiones gaseosas como a través de cenizas volátiles y escorias.

La presencia de HCB en los gases y partículas emitidas en incineradores puede ser debido a tres principales causas:

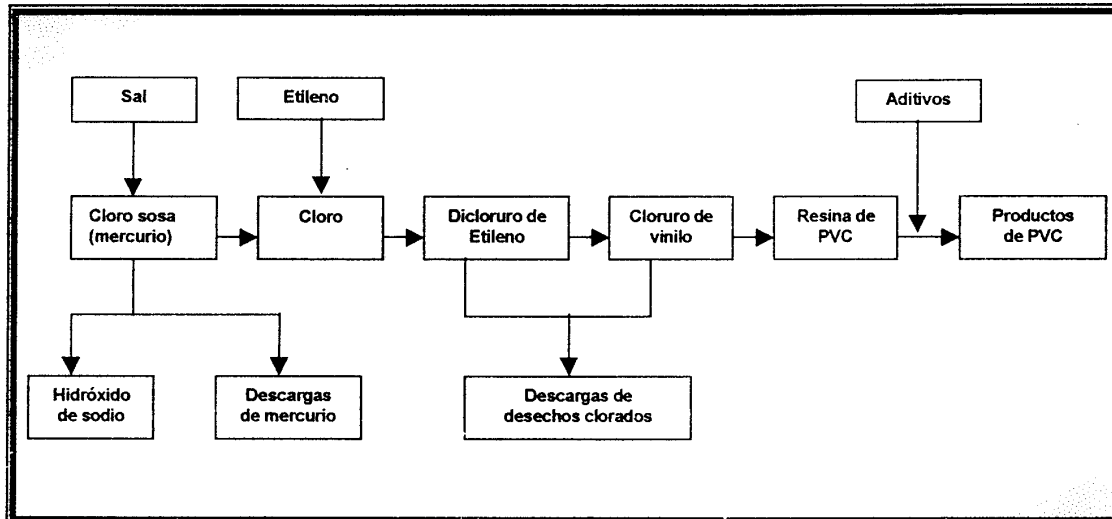
- Que sean componentes traza de los residuos que se incineran, y no-producto de la degradación térmica de los mismos.
- Que se formen a partir de precursores clorados presentes en los residuos como clorobencenos, clorofenoles, PCB's, policlorodifenileteres, fenoxiácidos clorados etcétera que se presentan durante la combustión.
- Que se formen a partir de la pirólisis de compuestos no relacionados, es decir siguiendo nuevas rutas sintéticas; como el PVC (cloruro de polivinilo), DDT, tetracloruro de carbono, hexacloroetano, poliestireno, celulosa, lignito, petróleo, tabaco, etcétera.

Generación de COPs Durante la Producción de Policloruro de Vinilo (PVC)

La producción de PVC es un proceso particularmente contaminante que emplea una serie de compuestos extremadamente tóxicos (Figura 5)

¹ EPA 1989 (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Centro Tecnológico de Control). Operación de Incineradores de Residuos Hospitalarios: Volumen 1 y 2. EPA documento No 450/3-89-003 y 004. Research Triangle Park, NC..

Figura 5. Diagrama Simplificado del Proceso de Fabricación de Policloruro de Vinilo (PVC)



Fuente: OSPARI 1996, Sittig 1978, Snedecor 1993.

La primera etapa es la producción de cloro. Existen tres tipos de celdas electrolíticas empleadas en la actualidad; de ellas, son las de mercurio las que provocan la mayor contaminación ambiental. Existen otros riesgos ambientales importantes en la producción, licuefacción, transporte y almacenamiento de cloro, así como de otros compuestos químicos.

El monómero de cloruro de vinilo (CVM) utilizado para la producción de PVC deriva casi siempre del 1,2-dicloroetano (dicloruro de etileno o EDC). El EDC puede producirse por oxiclорación o por clорación directa. En el proceso de clорación directa, el eteno reacciona con el cloro para producir EDC (reacción A). El método de oxiclорación produce EDC a través de la reacción del eteno con cloruro de hidrógeno seco y oxígeno (reacción B). El cloruro de vinilo se produce luego sometiendo al EDC a altas temperaturas y presiones en un proceso denominado «craqueo (cracking) térmico». Esto genera no sólo cloruro de vinilo monómero, sino también cloruro de hidrógeno (reacción C). El cloruro de hidrógeno es a menudo reintroducido en el proceso de oxiclорación para producir más dicloruro de etileno en lo que se conoce como proceso balanceado (OSPAR, 1996, Sittig 1978, Snedecor 1993).

Además de los productos propios de la reacción, estos procesos resultan en la generación de diversos residuos y subproductos involuntarios que contienen compuestos organoclorados tóxicos y persistentes.

- $\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$
- $2\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + 4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_2 = \text{CHCl} + \text{HCl}$

La fabricación de estos productos y la combustión de carbón para generar energía produce hexaclorobenceno como subproducto.

CAPÍTULO IV

DINÁMICA Y DISTRIBUCIÓN DEL HEXAECLOROBENCENO EN EL AMBIENTE

Los estudios realizados sobre la dinámica de este contaminante en el medio sugieren que una vez liberado, queda sujeto a una extensa gama de factores de orden físico, químico y biológico, cuya acción combinada tiende simultáneamente a su dispersión y degradación.

El HCB se distribuye en el ambiente a través del aire, agua y suelo sufriendo los procesos de volatilización sedimentación, bioconcentración, transporte, degradación, etcétera, de tal manera que pueden transferirse inalterado o con leves modificaciones hasta lugares distantes de su lugar de origen.

La dinámica de este contaminante en el medio se aborda desde dos perspectivas: el transporte físico y el transporte biológico.

“El término “rutas de transporte” se refiere a los fenómenos que ocurren a través de compartimientos y entre compartimientos, los cuales operan en una variedad de escalas temporales y espaciales, vinculando las emisiones de contaminantes a los compartimientos ambientales y su subsecuente transporte y efectos de estos contaminantes en los seres humanos y el ambiente.”

PNUMA-Sustancias Químicas/GEF. Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes. Reporte Regional de América del Norte. 2002.

Persistencia

La persistencia del HCB en el medio ambiente es muy alta, debido a que en suelo puede permanecer aproximadamente 2 años, en sedimentos el HCB se evapora rápidamente en el agua, la vida media es de 8 horas en el laboratorio, se adsorbe a los sedimentos, se bioconcentra en los peces y organismos acuáticos (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Persistencia y Bioacumulación del HCB

El HCB tiene una “vida media en campo” estimada entre 2.7 y 5.7 años y, por lo tanto, una potencial de bioacumulación y vida media en la biota altos.

Persistencia

Posibilidad de Exposición

Posibilidad de Bioacumulación.

Fuente: UNEP. Chemicals. North America Regional Report. Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. GEF. Diciembre 2002.

Cuadro 5. Persistencia en el medio ambiente, biota y humanos

Medios	Escala de concentraciones identificadas y documentadas mundialmente
Agua: <ul style="list-style-type: none"> • Potable • Superficial • Marina • Lluvia 	0.06-02ppt (Canadá) 8-30ppm (Niágara); 0.02-0.1ppt (Grandes Lagos); 0-0.04ppt en ríos. EU. Mediterránea 16% muestras 0.002-0.01ppmm. Grandes Lagos 1-4ppt; Pacífico Norte 0.03ppt; Lago Superior 2.8ppt
Emisiones: <ul style="list-style-type: none"> • Industriales • Municipales 	2 de 26 con 220 ppmm max., 4 fábricas en Canadá 1-2 ppt No identificadas
Concentraciones en el suelo Concentraciones en sedimento	En Estados Unidos, 37 de 50 muestras fueron positivas a la presencia de HCB con concentraciones de 0.0-0.44 ppm; algunos datos disponibles para Roma muestran concentraciones de 40 ppm En Alemania se reportan sedimentos con concentraciones entre 0-15 ppm; en Estados Unidos: en Mississippi 0-900 ppmm; en los Grandes Lagos la media encontrada es de 0.2-460 ppm y en Portland 0.05-0.37 ppm.
Concentraciones atmosféricas	En Grandes Lagos 0.008-0.024 ppt; en EU 0.001-0.016 ppt; Atlántico Norte 0.04 ppt; Océano Pacífico y Nueva Zelanda 0.055-0.061 ng/m ³ ; cerca fábrica de cloro en EU 0.006-2 ppmm
Concentración en alimentos	En inspecciones de alimentos realizadas en Estados Unidos, se encontraron muestras positivas en: mantequilla 0.47 mg/kg; manteca 0.302 mg/kg; manteca baja en calorías 0.596 mg/kg. En peces y mariscos de EU: peces de agua dulce 0.001-0.34 ppm y de mar 0.001-0.6 ppm; marisco 0.001-0.350 ppm. Egipto muestras comerciales 1.3 a 7.8 mg/kg
Concentraciones en las plantas	1-5 ng/g en hojas caídas en Italia
Concentraciones en animales	Muestras en EU 0-5.2 ppm; Alemania 0.03-0.31 ppm
Concentraciones en leche	EU: 3.3% muestras positivas 0.001 ppm. Yugoslavia 1.31 ng/g Alemania Occidental, 10 años disminución de 0.16 a 0.02 mg/kg; Leche materna en Canadá, Noruega, Finlandia, osciló de 0 a 5.13 ppm
Otras datos:	Mundialmente las concentraciones parecen haber llegado al máximo en la década de los 70 con una disminución en los 80.

Fuente: CCA. The Sound Management of Chemicals Initiative Under the North American Agreement on Environmental Cooperation: Regional Commitments and Action Plans, North American Commission for Environmental Cooperation. 1998

Transporte Físico

El HCB se moviliza a través de los compartimentos ambientales de las siguientes maneras:

- Llega al aire a través de partículas de polvo contaminado
- Llega a la superficie del agua vía suelo erosionado transportado por el agua
- Puede alcanzar las fuentes de agua subterránea vía lixiviación
- Se mantiene en la atmósfera vía volatilización directa de las moléculas.

Dinámica en Suelos

Contaminación de suelos

- Existen diferentes vías de incorporación del HCB en el suelo, destacando la aplicación de plaguicidas u otros productos químicos comerciales que contengan HCB, o el depósito como subproducto no intencional emitido por fabricantes de hidrocarburos, solventes clorados como tetracloruro de carbono y tetracloroetileno.
- Por la eliminación de desechos.
- Por la deposición atmosférica del HCB asociado a partículas o en estado de vapor.

Eliminación de HCB presente en suelos

La eliminación se puede llevar a cabo mediante diferentes procesos. Entre ellos destacan:

- a) Volatilización.
- b) Degradación.
- c) Fotodegradación.

a) Volatilización

Los estudios indican que la volatilización es un proceso bastante lento debido a la pequeña presión de vapor de los isómeros. Sin embargo en ausencia de otras vías de transporte, este mecanismo puede llegar a ser importante. En general los isómeros de mayor grado de cloración son los que tienen menor volatilidad y, por tanto, mayor vida media.

b) Degradación

No hay una biodegradación significativa, se elimina del suelo generalmente por volatilización. Puede degradarse con una pérdida de cloro de 13.6 $\mu\text{mol/l}$. por día en sedimento anaerobio fresco después de un intervalo de 7 días.

- El tiempo de vida media estimado (abiótico y biótico) es superior a un año.
- No se degrada en los cuerpos de agua superficiales.
- La vida media en el suelo es de aproximadamente 2 años; hay una degradación del 14% (adsorbido) después de haber estado expuesto por 24 horas a intensa luz solar simulada.
- Descomposición térmica: de 510-527°C; mineralización a 950°C.
- Metabolitos: 2,3, 5-Triclorofenol, tetraclorobenceno y pentaclorobenceno con una vida media en suelos que sobrepasa 2 años.

c) Fotodegradación

La fotodegradación de estos compuestos está claramente relacionada con el grado de cloración de los isómeros, siendo mayor la capacidad de fotodescomposición en aquellos

menos clorados y disminuyendo a medida que aumenta el contenido de cloro.² Los requisitos que se deben reunir para lograr una máxima fotodegradación son los siguientes:

- Presencia de un donador de hidrógeno (alcoholes, éteres, hidrocarburos, ceras, etc.) o un surfactante catiónico, exposición a una fuente de luz ultravioleta de longitud de onda adecuada, ya que parte de la luz UV alcanza la superficie de la tierra por reflexión y dispersión más que por la luz directa. No se requiere una exposición total al sol, sin embargo, como la degradación depende de la intensidad de la radiación, en presencia de nubes o en la oscuridad sería menor.
- En el caso de los isómeros hexaclorados se produce una decloración, lo cual hace posible que se fotodegraden más rápidamente si están en posiciones de sustitución y se exponen a radiaciones de luz adecuadas.

Dinámica en Agua

Las principales fuentes contaminantes de las aguas las constituyen:

- la lixiviación del suelo,
- el arrastre del viento
- el agua de lluvia
- las descargas de las fábricas donde se sintetizan o manipulan clorofenoles.

El HCB contenido en los clorofenoles puede quedar adherido a la superficie del agua, o adsorbido o en suspensión en partículas o sedimentos, más que en solución.³ El HCB se adsorbe fuertemente a las partículas en suspensión en los cuerpos de agua y de este modo se acumula en el sedimento.

El HCB se evapora rápidamente en el agua; la vida media es de 8 horas en el laboratorio, se adsorbe a los sedimentos y se bioconcentra en los peces y organismos acuáticos. (CCA. 1998)⁴.

Al igual que la situación en suelos, la eliminación de estos contaminantes de las aguas se suele producir mediante fenómenos de fotólisis, evaporación a la atmósfera y la precipitación en los sedimentos; es difícil predecir el destino fotolítico de estos compuestos en medio acuático natural.

² D.G. Crosby, A.S.: Wong, J.R. Plimmer and E.A. Woolson, 1971

³ E. Matsumara and H.J. Benezet, 1973.

⁴ CCA. The Sound Management of Chemicals Initiative Under the North American Agreement on Environmental Cooperation: Regional Commitments and Action Plans, North American Commission for Environmental Cooperation.1998

Dinámica en Aire

La principal ruta de entrada del HCB a la atmósfera es a partir de las emisiones gaseosas procedentes de los procesos de incineración. Una vez que el HCB alcanza la atmósfera, comienza a oxidarse y simultáneamente las moléculas experimentan una redistribución de los grupos de isómeros. En función de la baja presión de vapor y en forma pasiva, se movilizan a la atmósfera aquellos isómeros de baja cloración. Los de mayor cloración (menor volatilidad) además de las fuentes de incineración pueden ser transportados a la atmósfera como consecuencia de la desintegración de las partículas y posterior aglomeración de las micropartículas.

Más allá de una cierta distancia las partículas cargadas con HCB se entremezclan con las demás partículas atmosféricas. En algunos estudios se sugiere que durante la desintegración de partículas y la consiguiente aglomeración de micropartículas se puede transportar y mezclar en la atmósfera el HCB de baja volatilidad. En general, la degradación de la molécula es extremadamente lenta con una vida media de 2 años; las lluvias y la deposición seca pueden llevar el HCB del aire al suelo y al agua.

Dinámica del HCB en los Organismos

Las plantas son la base de la pirámide alimentaría y pueden crecer en áreas donde se han realizado aplicaciones de herbicidas o bien cerca de focos de emisión de HCB, como son los incineradores de residuos urbanos e industriales, encontrándose la mayor proporción en la parte subterránea de la planta, después en el tallo, luego en las hojas y después en el fruto. Esto puede sugerir que el HCB existente en los suelos, puede pasar a las plantas a través de las raíces y moverse hacia las parte nuevas de las mismas donde los fenómenos de eliminación tales como transpiración y fotodegradación tienen lugar, pudiéndose considerar como un proceso de eliminación.

Animales Terrestres

La actividad biológica de este contaminante en cuanto a su acumulación, concentración y magnificación ha sido objeto de numerosas investigaciones, la mayor parte de ellas llevadas a cabo en casos donde accidentalmente hubo envenenamientos con dosis inciertas de HCB, como ocurrió en Turquía en 1955-1959.⁵

Los factores de bioconcentración (biomagnificación) en mamíferos y en alimento para mamíferos, son bajos. Se ha documentado un alto factor de bioconcentración (HBC) en peces e invertebrados. Del agua pasa a la cadena alimentaria a través de algas, caracoles, plancton, insectos y peces. Se ha encontrado en el tejido adiposo de humanos que no han estado expuestos laboralmente, y el factor de bioconcentración parece ser más alto en humanos que en los roedores por vanos órdenes de magnitud.

⁵ Courtney, 1979; Gocmen et al., 1989

En el caso del suelo, los bajos factores de bioconcentración están relacionados con la baja disponibilidad (alta adsorción a suelo) y el consecuente bajo grado de exposición al 2,3,5-Triclorofenol.

No obstante la bioacumulación no es igual para todos los organismos y depende del metabolismo, así como de la estabilidad molecular del compuesto químico, del peso del individuo, de la ingesta media de alimentos y de la vida media del animal.

Organismos Acuáticos

En los peces el factor de bioconcentración depende de la concentración del isómero en cuestión y su solubilidad en agua, siendo tanto mayor la bioconcentración cuanto menor es la hidrosolubilidad y mayor su lipofilia.

El crecimiento de algas y protozoarios se ve afectado por concentraciones de HCB tan bajas como 1mg/l (Laseter et al. 1976); se han encontrado casos de acumulación selectiva debido a un mecanismo de adsorción/metabolismo selectivo y esta acumulación está en función del contenido graso del organismo y el tamaño del animal.

CAPÍTULO V

PELIGROSIDAD Y RIESGO DEL HEXACLOROBENCENO

Dimensión del Problema

En muchos países se ha notificado la presencia de HCB en el medio ambiente, entre otros, por el escurrimiento de los plaguicidas empleados en los campos agrícolas hacia los ríos y por las descargas a éstos de aguas residuales de actividades industriales.⁶ En los sedimentos se pueden encontrar concentraciones unas mil veces más elevadas que las del agua circundante y en las especies acuáticas de varios estuarios se ha confirmado el fenómeno de bioconcentración. Los estudios experimentales de laboratorio realizados en mejillones y peces indican un potencial de bioconcentración semejante para ambos organismos.⁷

En junio de 1985 se celebró en Lyon, Francia, el Simposio Internacional sobre el Hexaclorobenceno (HCB), organizado bajo el patrocinio conjunto del Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer, el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América, el Instituto Nacional del Cáncer de ese mismo país y la Comisión de las Comunidades Europeas (Dirección de Higiene y Seguridad). En dicho Simposio se discutieron los riesgos para la salud y el medio ambiente derivados de la exposición al HCB, se realizó también una evaluación y actualización de las exposiciones conocidas así como de los efectos biológicos de HCB y se formularon recomendaciones sobre investigaciones futuras.

Con la finalidad de reducir la concentración de HCB en los organismos, se han realizado experimentos en modelos de animales donde se han utilizado varios procedimientos para lograr movilizar y reducir las concentraciones de este contaminante en los depósitos adiposos, utilizando diversas metodologías y dando lugar a resultados eficaces.

Vías Principales de Exposición en Seres Humanos

- **Ingestión:** Una de las vías de acceso de este contaminante al ser humano es a través del consumo de alimentos ricos en grasa tales como carne, leche y pescado. Esto se debe a que al igual que otras moléculas organocloradas lipofílicas, el HCB se acumula en especies superiores de las cadenas alimentarias. Los niños y animales probablemente pueden verse más expuestos a través de la ingestión de partículas de suelo contaminado con HCB que por cualquiera de las otras rutas.

⁶ Ministerio del Medio Ambiente de Canadá y Ministerio del Medio Ambiente de Ontario, 1986; King y Sherbin 1986; UGLCCSMC 1988; RAP, 1989

⁷ UNEP/Pop's.Toxicología de Hexa .htm.

- **Inhalación:** Es otra posible ruta de entrada del HCB en el organismo, en la población humana general esta ruta parece tener poca importancia, pero ésta podría aumentar en determinadas poblaciones, como las expuestas en ambiente laboral, al igual que ocurre con la exposición dérmica. Sin embargo, la eficacia de absorción del HCB inhalado es poco conocida. También puede existir exposición por inhalación a partir de algunos accidentes en los que ocurre combustión de material eléctrico que contiene HCB.
- **Contacto dérmico:** La vía dérmica puede ser una de las más importantes en casos de exposición accidental u ocupacional, es decir en la manufactura y manejo de compuestos químicos que contienen trazas de HCB. El Cuadro 6 muestra algunas fuentes de exposición en humanos.

Cuadro 6. Algunas fuentes de exposición en seres humanos

Tipos de peligros/exposición	Peligros/sintomas agudos	Prevención	Primeros auxilios/lucha contra incendios
Incendio	Es muy buen carburante, la sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos. Reacciona violentamente con la dimetil formamida por arriba de los 65°C.	Evitar las llamas	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono
Inhalación		Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica. Utilizar guantes protectores cuando se presten primeros auxilios
Piel	Puede absorberse	Guantes protectores y traje de protección.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
Ojos		Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer ni beber, ni fumar durante el trabajo	

Fuente: International Chemical Safety Cards (WHO/IPCS/ILO) (IFCS, 1995).

Niveles de HCB en Tejidos y Fluidos Humanos

La gran mayoría de este tipo de estudios se ha realizado principalmente en muestras estandarizadas como son la leche materna, tejido adiposo y sangre. (CEO, 1998).

Leche materna

La leche materna constituye una de las principales muestras biológicas estudiadas por ser relativamente fácil de obtener y por su alto contenido en lípidos, lo cual ha sido de gran

utilidad en la determinación de niveles de HCB tanto de la madre como en el recién nacido. El principal problema que se presenta es que la evaluación se reduce a un único sexo y a un intervalo de edades en los individuos relativamente estrecho. (CCA, 1998).

La presencia de HCB en la leche materna es de especial interés porque la nutrición de los recién nacidos se efectúa básicamente a través de ella, en una etapa en la cual son particularmente sensibles a los efectos de este tipo de compuestos.⁸ Un número importante de publicaciones sobre este tema han puesto de manifiesto las consecuencias que pueden tener para la salud de los recién nacidos el ingreso a su organismo de este tipo de contaminantes a través de la placenta o de la leche materna cuando son amamantados. Sin embargo, hasta el momento no se ha establecido una concentración límite de HCB en la leche materna para restringir que los niños sean amamantados y la importancia de ésta práctica, sobre todo en países en desarrollo, hace que por ahora no se haya recomendado que se suspenda en casos de exposición materna a COPs.

Las concentraciones de HCB se expresan en base al contenido en lípidos de la leche, estos valores absolutos para el tejido adiposo y la leche son similares. Los estudios realizados por Fuerst y Col, quienes se basaron en los valores medios para muestras de leche mezcladas, es decir no de madres individuales, encontraron que los niveles son menores en las madres que están amamantando a su segundo hijo.⁹ Este mismo fenómeno ha sido observado en la especie humana con relación a los compuestos organoclorados persistentes y se ha encontrado que los niveles totales de HCB de la madre decrecen como un proceso de desintoxicación. Los resultados de los estudios también demuestran que los niveles de contaminación son menores en aquellas mujeres cuyo peso es superior a la media cuando son comparados con aquellas mujeres en las cuales su peso esta por debajo de la media, atribuyéndose esta diferencia a una simple dilución en el cuerpo.⁶

Tejido Adiposo Humano

El análisis de HCB en tejido adiposo constituye un caso ideal ya que no supone un muestreo tan sesgado de la población como ocurre con la leche materna, que se limita al sexo femenino en edad de lactancia. Tanto en el humano como en modelos animales experimentales se han utilizado varios procedimientos para movilizar y reducir las concentraciones de HCB en los depósitos adiposos del organismo. Entre estos métodos figuran las restricciones dietéticas, la aplicación de calor seguida de niacina, y la administración de aceite poliinsaturado, parafina líquida, poliéster de sucrosa, hexadecano o escualano. Estas diversas metodologías se han utilizado con distintos grados de eficacia.¹⁰

⁸ Vos, J.G. and Luster, M.I. In: Halogenated Biphenyls, Terphenyls, Napthalenes, and Related Products, Eds. Kimbrough, R. and A. Jensen. Amsterdam, 1989.

⁹ Fuerst, Meemken, y Gruebel, W., 1986)(Fuerst, p., Meemken, H. A. Krueger y Gruebel, W.,1987

¹⁰ Poland and J.C. Knutson, Ann, 1982

Exposición Potencial de Poblaciones Humanas

Exposición Laboral

Las principales rutas de exposición de los trabajadores son por inhalación, ingestión y/o contacto dérmico. La exposición laboral tiene lugar principalmente en las plantas de solventes clorados y en las actividades que involucran plaguicidas; un estudio realizado en Estados Unidos en 1983 mostró concentraciones de entre 3×10 y 1.2×10 mg/m. En estos estudios, el análisis de sangre en obreros expuestos mostró concentraciones que oscilan entre 14 y 233 ppm. Aproximadamente 4500 agricultores que lo aplicaron o manipularon el suelo contaminado con plaguicidas, estuvieron expuestos a HCB. (CCA, 1998).

En México el número de trabajadores potencialmente expuestos no ha sido especificado, pero se asume un número bajo ya que el HCB fue prohibido en 1992 y no se produce desde entonces (CCA; 1998).

Exposición en Población General

Dado que el HCB está prohibido en México, la exposición en población general probablemente sea baja (CCA, 1998). Dentro de la población general, la exposición tiene lugar y afecta a los individuos que viven cerca de las plantas de fabricación de productos clorados o de las fuentes de incineración. Análisis efectuados en tejido adiposo mostraron en Estados Unidos una concentración de 0.05 ppm promedio; en Canadá el promedio fue de 0.1-6.7 ppm y en Japón de 0.06- 3.2 ppm. En leche materna en Canadá se reportan rangos de 0-5.-13 ppm; en Noruega 2.1 ppm y Finlandia 0.7- 6 ppm.

En Estados Unidos, la concentración promedio de HCB en el cuerpo es de 0.7 mg y el promedio de ingreso diario es: por inhalación de 0.20 — 4 ng; por consumo de agua 0.12-0.40 ng; por ingestión de alimento 0.03-0.3 µg. (CCA,1998) La proporción de la población general potencialmente expuesta no ha sido cuantificada en ningún país.

Absorción, Distribución, Metabolismo y Excreción

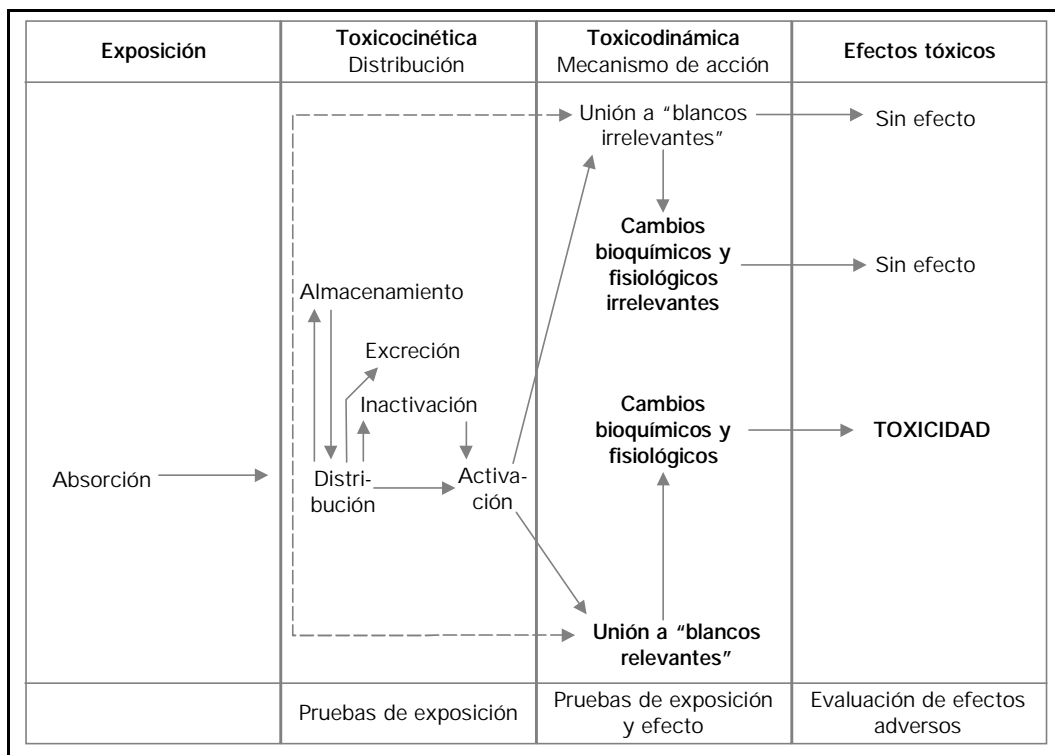
Como se describió anteriormente, el HCB se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión, se degrada como resultado de las reacciones metabólicas en productos simples y asimilables y se excreta por riñones, bazo, uréter, uretra y vejiga. En la Figura 6 se describe el mecanismo de exposición.

Los principales signos y síntomas de exposición son:

- Dolor de cabeza
- Vértigo
- Náuseas y vómitos
- Adormecimiento de manos y brazos
- Aprensión y excitación.
- Temblores de las extremidades.

- Parálisis parcial de las extremidades y ataxia.
- Pérdida del sentido vibratorio y propioceptivo.
- Coma
- Convulsiones.

Figura 6. Mecanismo de exposición al hexaclorobenceno



Fuente: Promoción de la prevención y reducción de riesgos químicos ambientales, Cnsthna Cortinas de Nava, INE, 2000.

Principales Hallazgos Toxicológicos en Estudios de Laboratorio

Organismos acuáticos

Es poco probable que el HCB produzca efectos toxicológicos directos en animales acuáticos en concentraciones de saturación o inferiores (alrededor de 5mg/l) en el agua. Con una exposición a una concentración de 4,8 mg de HCB durante 32 días, no se observaron efectos a lo largo de las fases embrionaria y juvenil del desarrollo de *Pimephales promelas*, obteniéndose un nivel en el que no se observan efectos o (NOEL), de 4,8 mg/l. (Hazardous Substances Data Bank, HSDB,1999).

Los organismos *Daphnia magna*, *Hylella azteca*, *Gammarus lacustris*, *Lumbricus variegatus* y *Pimephales promelas* fueron expuestos a una concentración de saturación de HCB de 5mg/l durante 68 días. No se observaron efectos en la supervivencia, el crecimiento o la reproducción. (Hazardous Substances Data Bank, HSDB,1999).

- Los resultados de otro estudio pusieron de manifiesto que la exposición en el útero producía una mortalidad más alta de las crías que la registrada a través de la leche materna.(UNEP/POP'S.Toxicología de Hexa.htm 1998).
- El crecimiento de algas y protozoarios se ve afectado por concentraciones de HCB tan bajas como 1 mg/l. En el pez lubina de boca grande (*Dicentrarchus labrax*), y el langostino (*Penaeus kerathurus*), se observaron necrosis de hígado y daño al hepatopáncreas después de un exposición de 10 días a una concentración de 3.5 mg/l y 5 mg/l de HCB (Laseter et al. 1976).

Toxicidad Aguda en Animales

En un experimento con ratas macho, se les suministró mediante sonda estomacal, 8 mg/Kg de HCB, durante 19 días, al termino de los cuales se le encontró en grasa corporal en una concentración de 82 ppm, en músculo 17 ppm, en hígado un total de 125 ppm, en riñón, un total de 21 ng; en bilis, un total de 9 ng y un total en corazón de 1.5 ng. (Clayton, G.D, 1994) Vía riñón, se aplicó en ratas el HCB marcado radiactivamente y posteriormente se encontró en orina 69 % de metabolitos y en heces se encontró la molécula inalterada.

La toxicidad aguda del hexaclorobenceno es baja, con una dosis letal (DL) por vía oral para mamíferos y aves generalmente por debajo de los 500 mg/kg de peso corporal y con capacidad letal (CL) para biota acuática por arriba del límite de solubilidad del HCB en agua, de 5 mg/l (Ministerios de Salud y Bienestar y del Medio Ambiente de Canadá, 1993). Tales concentraciones y dosis son superiores a los niveles encontrados en el medio ambiente, incluso en áreas muy contaminadas.

En estudios con animales, el HCB no irrita la piel ni los ojos ni provoca respuestas de sensibilización en conejillos de Indias

Toxicidad Crónica en Animales

El HCB es muy tóxico a consecuencia de exposición prolongada. Se ha encontrado que la exposición repetida a esta sustancia causa una amplia gama de efectos no neoplásicos en diferentes especies de animales, con similares grados de efecto mínimo observado (LOAEL por sus siglas en inglés) y de efectos no observado (NOAEL)(IPCS, 1997).

La información disponible indica que la ruta para la biosíntesis de las células sanguíneas es un punto blanco importante de la toxicidad por HCB. Se han encontrado niveles elevados de porfirinas o precursores de éstas en los tejidos y la materia fecal de ratas, como consecuencia de una exposición oral subcrónica o crónica entre 2.5 y 15 mg/kg. peso corporal/día (IPCS, 1997) La excreción de coproporfirinas se incrementó en cerdos que ingirieron 0.5 mg/kg. de peso corporal/día o más durante 90 días (no se observaron efectos en cantidades de 0.05 mg/kg. de peso corporal/día). (Den Tonkelaar et. al., 1978).

La exposición repetida de HCB en animales de laboratorio también ha demostrado que afecta una amplia variedad de órganos (entre ellos hígado, pulmón, riñón, tiroides, piel y los sistemas nervioso e inmunológico), aun cuando éstos han sido reportados con menos

frecuencia que la porfirina (IPCS, 1997). En estudios sobre casos crónicos, se han presentado efectos ligeros en el hígado en diversas investigaciones en ratas expuestas entre 0.25 y 0.6 mg HCB/kg. de peso corporal/día; los GENO en estos estudios fueron de 0.05 a 0.07 mg HCB/kg. de peso corporal/día (Grant et al., 1974; Mollenhauer et al., 1975, 1976; Bóger et al., 1979; Arnold et al., 1985). Las concentraciones de neurotransmisores en el hipotálamo quedaron alteradas con una exposición crónica en su dieta de 0.16 mg HCB/kg de peso corporal/día, así como en su progenie expuesta en útero y durante la lactancia (Bleavins et al., 1984a).

La homeostasis del calcio y la morfometría ósea fueron afectadas, según estudios subcrónicos en ratas, con exposiciones a 0.7 mg HCB/kg. de peso corporal/día, pero no a 0.07 mg HCB/kg de peso corporal/día (Andrews et al., 1989, 1990).

Los resultados de diversos estudios han indicado que el HCB afecta el sistema inmunológico (Vos, 1986; IPCS, 1997). La exposición crónica de perros a 0.12 mg HCB/kg de peso corporal/día provocó hiperplasia nodular del tejido linfoide gástrico (Gralla et al., 1977). En estudios en ratas, la inmunidad humoral y la generada a nivel celular aumentaron por medio de la exposición al HCB durante vanas semanas en la dieta (Vos, 1986); una pequeña dosis de 0.2 mg HCB/kg. de peso corporal/día durante la gestación y desde la lactancia hasta las cinco semanas de edad, incrementó la respuesta inmune humoral y la generada a nivel celular en crías de ratas (Vos et al., 1983). En contraste, esta sustancia inhibió la función inmunológica en la mayoría de las investigaciones en ratones; en la descendencia expuesta in útero y durante la lactancia, pequeñas dosis de 0.5-0.6 mg/kg. de peso corporal/día, por varias semanas, disminuyeron la resistencia del huésped, la actividad macrofagocitaria citotóxica del bazo y la respuesta hipersensible tipo retardado (Loose et al., 1981; Loose, 1982; Bamett et al., 1987).

Mutagenicidad

El HCB posee una escasa capacidad para inducir directamente mutaciones genéticas, daño cromosómico o reparación del ADN. Se ha observado actividad mutagénica dudosa en un pequeño subgrupo de estudios realizados con bacterias y levaduras (Brusick, 1986; IPCS, 1997). También existen algunas pruebas de unión con el ADN (formación de aductos) *in vitro* e *in vivo*, pero a niveles muy por debajo de los esperados en los carcinógenos genotóxicos (IPCS, 1997).

Alteraciones en la Reproducción

La exposición al HCB de macacos de Java en varios estudios ha producido cambios degenerativos del epitelio superficial del ovario, supresión de la progesterona del suero, atrofia de la corteza del timo, disminución del número de linfocitos, cambios degenerativos en el ovario, el riñón y cambios degenerativos compatibles con la porfirina tardía en el hígado. En un estudio en el que se administró a monos por vía oral una dosis de 0.1 mg/kg. de peso corporal/día durante 90 días, el HCB afectó la estructura del epitelio germinal superficial y de las células germinales primordiales del ovario (Babineau et al., 1991; Sínght et al., 1990a,b, 1991; Jarrell et al., 1993).

En los estudios efectuados en diversas especies no primates, la reproducción masculina sólo resultó afectada a dosis mucho mayores (den Tonkelaar et al., 1978; Elissalde et al., 1979; Simon et al., 1979).

La exposición a través de la placenta o de la lactancia, estudiada en madres de ratas y gatos a las que se les administraron dosis de entre 3 y 4 mg HCB/kg de peso corporal/día, resultó hepatotóxica y afectó la supervivencia o el crecimiento de las crías (IPCS, 1997).

El visón (*Mustela vison*) parece ser particularmente sensible a los efectos de la exposición prolongada a HCB. Su administración a través de una dieta alimentaria durante 47 semanas muestra que en las crías de visón alcanza una dosis de 0.16 mg/kg. de peso corporal al día y éstas presentan menor peso al nacer y mayor mortalidad. Bleavins et al. y Moore et al. (1997) estimaron que los visones que viven en el área del río St. Clair tienen una probabilidad del 73% de experimentar una disminución del 10% en su fecundidad, debido a la exposición a HCB.

En otros experimentos realizados con visones (*Mustela vison*) y hurones europeos (*Mustela putorius*) a los que se suministró HCB en los alimentos, se encontró que se producía mortalidad de adultos con las dosis más altas de 125 y 625 mg de HCB/kg en alimentos, así como una reducción del tamaño de la camada, un porcentaje mayor de muerte prenatal, aumento de la mortalidad de las crías y reducción de su crecimiento. En general, el visón fue más sensible al HCB que el hurón. (PNUMA, UNEP, 1998).

A la codorniz japonesa adulta (*Coturnix japonica*) se le suministró HCB en los alimentos durante 90 días, produciéndose un aumento de la mortalidad a una dosis de 100 mg/kg de alimentos y una reducción significativa de la tasa de eclosión a una concentración de 20 mg/g. Con 5 mg/g se observó un aumento de peso del hígado, ligeras lesiones hepáticas y aumento de la excreción fecal de coproporfirina. (Hazardous Substances Data Bank, HSDB, 1999).

Teratogénesis

Se ha demostrado que el HCB es capaz de traspasar la placenta. Algunos estudios demuestran que los efectos teratológicos en crías de roedores dependen de la toxicidad de las madres. Se encuentran anomalías de desarrollo en el sistema esqueleto muscular, reducción de supervivencia del neonato, anomalías bioquímicas y metabólicas en los neonatos, afectaciones en el bazo, la médula ósea y el sistema linfático, hidronefrosis, anomalías en el desarrollo inmunológico, reducción en el aumento de peso y del índice de viabilidad, anomalías craneofaciales y urogenitales.

En las especies estudiadas, la presencia de malformaciones fetales es baja, con la notable excepción del ratón. Los efectos teratogénicos en el ratón son una respuesta muy estable y reproducible.

Ratas expuestas por un corto periodo y a una sola dosis mostraron un aumento en el desarrollo de las costillas. La toxicidad relativa es 2.5 veces más alta en la leche que en la sangre (CCA; 1998)

En un estudio experimental realizado con ratas de tipo CD-1, se les administró por intubación gástrica una dosis de 100 mg//kg/día de HCB, mostrando como resultados efectos de paladar hendido y algunas malformaciones renales. (EPA, 1999).

En un estudio de reproducción de cuatro generaciones en ratas a las que se administró HCB con los alimentos, éste afectó la reproducción reduciendo el número de camadas, su tamaño y el número de crías que sobrevivieron hasta el destete. En dos estudios, el desarrollo neuromotor de las crías de rata resultó afectado por la exposición a HCB in útero, a dosis orales de 0.64 a 2.5 mg/kg de peso corporal/día (Goldey y Taylor, 1992; Lilienthal et al., 1996).

Sin embargo, en otros estudios las anomalías en el esqueleto y el riñón observadas en ratas y ratones expuestos a HCB durante la gestación no se relacionaron claramente con el tratamiento administrado a las madres (Khera, 1974; Courtney et al., 1976; Andrews y Courtney, 1986).

Efectos Carcinogénicos en Animales

En un estudio de dos años de exposición oral crónica, efectuado en ratones suizos, hamster y ratas Sprague-Dawley, se observó cáncer hepático (hemangiohematomas, carcinoma hepatocelular y del conducto biliar), neoplasmas en la tiroides y los riñones. En los ratones se han encontrado linfomas y tumores en la tiroides de los hamster. Las hembras parecen haber sido más susceptibles. Las relaciones dependen de las dosis. La exposición a corto plazo no tuvo efecto.(CEC;1998).

El IARC ha llegado a la conclusión de que, si bien no hay pruebas claras de carcinogenicidad del HCB en el ser humano, las pruebas son suficientes en los animales de experimentación por lo que le clasificó como integrante del grupo A· (carcinógeno en animales) (Cuadro.7).

Cuadro 7. Información de efectos a la salud en animales

	Muerte	Agudo	Intermedio	Crónico	Inmunología	Reproducción	Evolución	Genotoxicidad	Cancer
Inhalación		X			X				
Oral	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dermal									

Fuente: ATSDR Toxicological Profiles, Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Efectos tóxicos en humanos

La toxicidad del HCB en seres humanos no se ha estudiado muy a fondo, en el Cuadro 8 se presentan algunos de los efectos reportados.

Cuadro 8. Efectos de la exposición al Hexaclorobenceno en los humanos

Efectos de exposición aguda	La exposición aguda causa irritación en nariz, garganta y pulmones, El contacto puede causar irritación en los ojos y quemaduras de la piel.
Efectos de exposición crónica	La exposición prolongada puede dañar el hígado, los riñones, el sistema inmunológico y la tiroides. También puede afectar al sistema nervioso central y causar irritabilidad, dificultad al caminar y problemas de coordinación, debilidad muscular, temblores y la impresión de tener agujas y alfileres en la piel. Las exposiciones repetidas pueden cambiar la pigmentación de la piel, aumentar su espesor, provocar cicatrización, mayor sensibilidad y aumento del vello facial y de los antebrazos.
Efectos cancerígenos	El HCB pertenece al grupo de agentes considerados como carcinógenos. Para el IRIS (Integrated Risk Information System), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) es posiblemente carcinogénico en los humanos, por lo que se le ubica en el grupo 2B (posible carcinógeno en los seres humanos, suficientes datos en animales). Mientras que de acuerdo con la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer), se le ubica en el grupo A3 (carcinogénico en los animales).

Fuente: ATSDR's Toxicological Profiles, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1990

El estudio más llamativo en relación con los efectos del HCB en el ser humano se refiere a la ingestión de semillas tratadas con HCB en la región oriental de Turquía, donde se observó que entre 3,000 y 4,000 personas (principalmente niños) contrajeron porfiria por trastorno de la biosíntesis del grupo hemo. La mortalidad llegó al 14% y se observó hipertriosis, hepatomegalia, dilatación de la glándula tiroides y de los ganglios linfáticos, así como osteoporosis o artritis. (Courtney, 1979; Gocmen et al., 1989).

Un estudio en Italia mostró que entre las mujeres que tienen un alto número de abortos naturales, no hay diferencia en el contenido de HCB en la sangre. El HCB ha sido encontrado en el líquido folicular de mujeres que siguen un tratamiento de fertilización *in vitro*. (CCA, 1998).

Efectos carcinogénicos en humanos

Existen escasos datos sobre estudios en humanos que puedan apoyar los efectos carcinógenos del HCB; en un estudio se escogieron alrededor de 5 mil personas, entre ellas las madres que ingirieron semillas tratadas con HCB, y se determinó si éstas transmitieron el contaminante a sus hijos a través de la placenta o de la leche. Muchos de los niños menores de dos años que estaban siendo amamantados por las madres expuestas a HCB murieron, y también desarrollaron un desorden llamado "Bemba Yara" (inflamación rosada) con un índice de mortalidad notificado de alrededor del 95%. En un estudio con 32 personas realizado 20 años después de la exposición, se puso de manifiesto que la porfirina podía persistir durante años (Courtney, 1979; Gocmen et al, 1989); asimismo, un seguimiento del caso se mostró que el 37% desarrolló un crecimiento excesivo de la glándula tiroidea (tiromegalía). (CCA; 1998).

Las escasas investigaciones epidemiológicas disponibles sobre cáncer han sido desarrolladas con exposiciones al HCB mal caracterizadas, además de que existía exposición a otros agentes, por lo que son insuficientes para evaluar el potencial carcinógeno del HCB en humanos (IPCS, 1997).

Alteraciones hepáticas

Las alteraciones hepáticas representan una importante faceta de la toxicidad del hexaclorobenceno (Poland and J.C. Knutson, 1982). En primer lugar, el hexaclorobenceno induce importantes alteraciones en la actividad de numerosos enzimas endoplasmáticas en las células del parénquima hepático, debido a la inducción o represión selectiva de un conjunto determinado de enzimas monooxigenasas dependientes de citocromo f. El efecto más representativo es que el efecto bioquímico no ocurre solo en hígado, sino también en otros tejidos como el intestino o el riñón.

Los cambios del metabolismo hepático pueden tener consecuencias sobre todo el organismo y una de ellas es la porfiria cutánea de origen hepático. La porfirina inducida por hexaclorobenceno se caracteriza, al igual que la porfiria cutánea espontánea, por la sobreproducción, acumulación hepática e incremento de la excreción urinaria de porfirinas. También parece probable que los cambios funcionales en el hígado sean en parte responsables de una lista de efectos entre los que se encuentran diversas alteraciones de parámetros hepáticos. (Poland and J.C. Knutson).

Cuadro 9. Principales efectos No Carcinogénicos del HCB

<p style="text-align: center;">Alteraciones bioquímicas</p> <ul style="list-style-type: none">• Inducción enzimática• Porfiria y otros cambios funcionales <p style="text-align: center;">Alteraciones dérmicas</p> <ul style="list-style-type: none">• Hirsutismo o alopecia• Hiperpigmentación <p style="text-align: center;">Alteraciones reproductivas</p> <ul style="list-style-type: none">• Disminución de la fertilidad• Efecto degenerativo del epitelio superficial del ovario• Anormalidad en el desarrollo del sistema inmunológico• Teratogenicidad• Debilidad muscular• Paladar hendido• Dilatación en los riñones de las crías• Hiperplasia e hipertrofia del epitelio gastrointestinal• Atrofia del timo y otros tejidos linfáticos
--

CAPÍTULO VI

PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN Y TRANSPORTE A GRANDES DISTANCIAS DE HEXACLOROBENCENO EN AMÉRICA DEL NORTE

Antecedentes

Estados Unidos (1987) y Canadá (1993) fueron los primeros en establecer sistemas de registro de emisiones de sustancias tóxicas al aire, agua y presentes en residuos peligrosos (Inventarios Nacionales de Sustancias TRI y NPRI, respectivamente), con el propósito de determinar su comportamiento *in situ* y su transporte a largas distancias, en el marco de sus propias legislaciones en la materia (Clean Air Act, Emergency Planning and Community Right-to-Know Act y Pollution Prevention Act, en Estados Unidos, y Canadian Environmental Protection Act, en Canadá). En el caso de Estados Unidos el registro TRI incluye alrededor de 650 sustancias y en el caso del NPRI 270.

Por su parte, México estableció más recientemente un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Durante el periodo 1995-2000, el RETC pasó a formar parte del “Sistema Integrado de Regulación y Gestión Ambiental de la Industria”, implantado por el Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), para lo cual se estableció una “Propuesta Ejecutiva”, que constituye la base de formulación de la Cédula de Operación Anual (COA), que permite integrar un “Inventario Anual de Emisiones y Transferencia de Contaminantes” (IETC).

Cabe señalar, que hasta finales de 2001 se introdujo en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) la obligatoriedad del registro (RETC) y de dar acceso público a la información correspondiente, asimismo se estableció una Norma Mexicana voluntaria que incluye el listado de las 104 sustancias tóxicas sujetas a registro).

Los tres países son miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y suscribieron un Acuerdo de Cooperación Ambiental de Norte América en 1994, y en ambos contextos desarrollan actividades relacionadas con la armonización de estos registros de emisiones de sustancias tóxicas, así como con su divulgación. Asimismo, los tres países colaboraron con la Oficina de Sustancias Químicas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), para integrar y publicar en 2002 el Reporte Regional de Norte América sobre la Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes, con el apoyo del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF).

En este último documento se plantea en relación con la transferencia de contaminantes, lo siguiente:

“La región es esencialmente una gran masa terrestre con amplios recursos de agua dulce. El origen, movimiento y destino de los contaminantes en la región está determinado principalmente por la naturaleza de las rutas a través de la atmósfera, el compartimiento terrestre y los sistemas de agua dulce, incluyendo los sedimentos. Aunque otras rutas, particularmente los océanos y el agua subterránea, han sido estudiados hasta cierto grado, juegan un papel relativamente menor.

Tomando la atmósfera como la ruta principal, una visión conceptual simple es posible: los contaminantes entran a la atmósfera en altas concentraciones, se difunden y diluyen con el tiempo y la distancia, se depositan y luego se reconcentran en los compartimientos acuáticos y terrestres. Los efectos ocurren primeramente en la biota y en los humanos al final de rutas que involucran múltiples compartimientos, mientras que pueden ocurrir procesos de remediación, principalmente al comienzo. Generalmente, el aire no es un medio agudamente tóxico, sino más bien, un vehículo.

En realidad, las rutas que siguen las moléculas individuales puede ser compleja. Por ejemplo, una ruta común es: la emisión a partir de una fuente o la volatilización a partir del suelo o de la superficie de las plantas → transporte atmosférico → depósito en ambiente terrestre o tierras cultivadas → escorrentías → transporte por los ríos hacia los lagos o estuarios → transporte al océano. La revolatilización repetida es también un factor importante para aumentar la complejidad de las rutas. Este proceso puede ocurrir tanto en las superficies terrestres como acuáticas. En el compartimiento de agua dulce, el depósito en y la resuspensión de sedimentos constituyen una alternativa importante”

Otro aspecto que se resalta en el citado documento, es que en América del Norte la ruta de particular interés es la movilización de los contaminantes por el aire a través de las fronteras políticas, la cual puede ser descrita mediante la aplicación de diversos modelos. Los contaminantes así transferidos cruzan la interfase aire-agua y entran a la columna de agua en donde continúan hasta depositarse en los sedimentos e ingresar en la biota acuática. A su vez, está ocurriendo una recirculación de los contaminantes contenidos en los sedimentos hacia la columna de agua y la atmósfera, con lo cual los sedimentos se están constituyendo ahora en fuentes de tales contaminantes.

Aún cuando la cantidad de las sustancias tóxicas persistentes contaminantes de la biota sean pequeñas, en comparación con las presentes en aire, agua y sedimentos (medio abiótico), el fenómeno de bioacumulación y biomagnificación en los distintos eslabones de la cadena alimentaria, hace que los predadores al final de dicha cadena (incluyendo a los seres humanos) sean los más expuestos a ellos.

En este contexto, y dado que los seres humanos son el centro de la preocupación respecto al riesgo de estas sustancias, se requiere de un balance de la exposición por las distintas rutas de exposición y vías de ingreso al organismo para determinar dicho riesgo, lo cual es sumamente complejo y difícil de realizar. A pesar de lo anterior, la EPA ha destinado importantes recursos y fondos para realizar la modelación de este balance en el caso de contaminantes específicos como el mercurio, los BPCs, la atrazina (en su uso actual como plaguicida) y del trans-nonachlor en el Lago Michigan.

En las conclusiones del referido documento se indica que los inventarios TRI y NPRI se han convertido en bases de datos valiosas para estimar las sustancias tóxicas y persistentes que se emiten y transfieren en la región de América del Norte, aunque se identifican las siguientes debilidades al respecto:

- No incluyen todas las fuentes ni las sustancias importantes.

- No identifican todas las liberaciones *in situ* y fuera del sitio en las distintas instalaciones.
- Algunas liberaciones sólo se estiman pero no se miden.
- No se indica cuál es el último destino ambiental de los materiales, tampoco se precisan que instalaciones transportan o embarcan fuera del sitio tales sustancias para su disposición final.
- No proporcionan información sobre la toxicidad o efectos potenciales en la salud de las sustancias que se emiten o transfieren al ambiente.
- No identifican la exposición y riesgo para los seres humanos o las poblaciones ecológicas de las sustancias liberadas o transportadas a partir de las instalaciones que efectúan el reporte.

En cuanto a México, en el documento se señala que muchas de las bases de datos requeridas no existen o son limitadas y el acceso a la información es difícil y demanda intensas búsquedas para determinar, si es posible, las características, cantidades y movimientos de las sustancias tóxicas persistentes (PTS).

Situación de Estados Unidos

La creación del inventario de 188 contaminantes peligrosos (HAPs por sus siglas en inglés) obedece a la obligación establecida a ese propósito en el Acta o Ley del Aire Limpio,¹¹ en sus reformas correspondientes a 1990. En dichas disposiciones legales se establece específicamente la obligación por parte de la EPA de identificar sus fuentes, cuantificar sus emisiones por categoría de fuente, desarrollar regulaciones para cada una de estas categorías y evaluar los impactos en la salud humana y el ambiente tras de la entrada en vigor de dichas disposiciones. El inventario de emisiones se constituye en este contexto, en el instrumento que permite a la EPA cumplir con la obligación referida.

El inventario nacional de emisiones es un componente crítico del Programa de Sustancias Tóxicas del Aire (como lo describe la Nota del Federal Register, 64 FR 38706). Su objetivo inicial consiste en tener disponibles los datos para que los utilicen los modeladores en la Evaluación Nacional de las Sustancias Tóxicas. Aunado a ello, estos datos se emplean para realizar evaluaciones de riesgos residuales, así como para reportar las tendencias de las emisiones contaminantes.

Cuadro 10. Estimación de Factores de Emisión de Dioxinas, Furanos y Hexaclorobenceno en Estados Unidos

Proceso	Dioxinas Lb/ton	Furanos Lb/ton	HCB Lb/ton
Cremación de animales	7.74E-04	1.43E-07	ND
Cremación humana	7.74E-04	1.43E-07	ND
Quema de desechos municipales		4.5E-6	1.6E-6

¹¹ www.epa.gov/ttn/atw/188polls.html

En el caso particular de la aplicación de plaguicidas, se considera el porcentaje de HCB existe en el plaguicida y se asume que el 8.4% se volatiliza durante la aplicación y a partir de ello se determina la emisión de HCB.

Los factores de emisión desarrollados por la EPA para los diferentes procesos donde se manejan compuestos clorados como en la fabricación de hules clorados, solventes clorados, producción de magnesio, producción de cloro, etcétera, no incluyen la generación secundaria de hexaclorobenceno, únicamente identifican compuestos de cloro como HCl y no como compuestos organoclorados.

En el reporte final de las emisiones anuales de hexaclorobenceno de los Estados Unidos de Norteamérica, para el año de 1990 (EPA, 1998), y en el inventario nacional de emisiones tóxicas del año de 1996 se identificaron las fuentes que se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Fuentes de Producción No Intencional de HCB en EEUU

Fuentes
Producción de llantas
Producción de cloro
Producción de ácido clorhídrico
Producción de policloruro de vinilo
Combustión de carbón para generación de energía
Producción de plaguicidas
Combustión de carbón residencial
Producción de solventes clorados
Producción de microcircuitos electrónicos
Sistemas de desechos comerciales
Producción de pentaclorofenol
Producción de percloroetileno
Producción de pentacloronitrobenceno
Producción de tricloroetileno
Producción de hexaclorobenceno
Refinación de petróleo
Corte de lámina para latas
Aplicación de plaguicidas
Productos de carbón y grafito
Manufactura de cemento Pórtland
Pirotecnia
Producción de municiones
Producción de tintes

Fuente: (CCA; 1998)

En el Cuadro 12 se describe la producción nacional de productos que contienen cloro y en el Cuadro 12 se muestran las estimaciones de las emisiones de HCB, en Estados Unidos. La página Web en la cual se pueden consultar los datos sobre emisiones de compuestos del tipo de las dioxinas es (www.cfpub.epa.gov/ncea/cfm/dioxin.cfm).

Cuadro 12. Producción nacional de cloro, ácido clorhídrico, policloruro de vinilo y combustión de carbón para generar energía en Estados Unidos de Norteamérica.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cloro [ton]	358,246	390,255	415,159	415,080	414,761	401,600	---
Ácido clorhídrico [ton]	225,190	213,681	208,912	256,987	240,062	234,183	---
Policloruro de vinilo [ton]	381,602	381,596	383,061	399,990	416,431	485,602	---
Combustión de carbón (carboeléctricas) [MW]	1,896	2,250	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600

FUENTE: Persistent, Bioaccumulative and Toxic Pollutants (USEPA), 2000

Cuadro 13. Emisiones de Hexaclorobenceno en Estados Unidos

Lugar de las Emisiones	Libras
In situ	1,426.24 (aire)
	331.44 (agua)
	48.39 (inyección subterránea)
	22,700.20 (disposición de residuos)
Fuera del sitio	13,021.04
Emisiones totales/móviles en el ambiente	37,527.30/1,426

Fuente: PNUMA/GEF. Reporte Regional de Norte América sobre la Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes 2002.

Las estimaciones de emisión de HCB por aplicación de plaguicidas resultan de la volatilización de los ingredientes activos, del uso de solventes orgánicos, emulsificadores y otros compuestos orgánicos que pueden ser mezclados en su formulación.

Para estimar el contenido del ingrediente activo se hicieron cálculos de la cantidad promedio de hexaclorobenceno en plaguicidas producidos en Estados Unidos. En el Cuadro 14 se presentan estos contenidos y el porcentaje de hexaclorobenceno que ha sido estimado que se volatiliza.

Cuadro 14 Contenido de HCB en plaguicidas

Plaguicidas	Contenido de HCB %	% de volatilización
Dacthal o Clortal dimetil (DCPA)	0.10	8.4
Clorotalonil	0.005	8.4
Picloram	0.005	8.4
Atrazina	0.0001	8.4
Zimacina	0.0001	8.4
Lindano	0.01	8.4
PCNB	0.05	8.4

Fuente: Gilding, 1996; Bailey, 1996; Parshley, 1996; Nobe, 1996; McMaster, 1996; McMaster, 1997.

Situación de Canadá

Cuadro 15. Ejemplos de Fuentes de Liberación de Hexaclorobenceno en Canadá

FUENTE	EMISIONES/AÑO
Desechos peligrosos de la quema de cemento	15-731
Incineración de lodo de aguas negras	0.14—655
Combustión de biomasa	4—637
Uso de Plaguicidas	83 — 525
Fundición de aluminio	92 — 458
Horno de cemento	8—401
Incineración municipal	3— 318
Incineración de desechos peligrosos	0.02 — 181
Usos de solventes dorados	0.1 —70
Anafres de los tepes o cabañas de indios (desechos municipales)	26
Incineraciones de sustancias biomédicas	0—24
Combustión de carbón	1 — 14
Postes del tendido eléctrico en servicio (aire)	4.4
Durmientes de ferrocarril en servicio (al suelo)	4.4
Cobre secundario	0 — 4
Sinterizado de acero	0— 3
Madera tratada fuera de servicio (suelo)	1.8
Producción de sustancias químicas (aire)	0.1

Fuente: Ministerios de Salud y Bienestar y del Medio Ambiente de Canadá, 1993

Instituciones de Canadá han realizado estudios para determinar la generación de HCB durante la producción de magnesio a partir de $MgCl_2$ en tres tipos de proceso, obteniendo los siguientes factores de emisión tanto para aire, agua y suelo. De 90 a 170 microgramos de HCB en aire /kg de Mg; de 2 a 4 microgramos de HCB en agua / kg de Mg; de 60 a 120 microgramos de HCB en suelo/kg de Mg. Los valores antes descritos varían de proceso a proceso.

En el documento del PNUMA-GEF citado previamente (página 32) se señala que la liberación total in situ de HCB reportada en el NPRI en Canadá equivale a 37.80 kg y la cantidad transferida a sitios de disposición fue de 10.45 kg y a plantas de reciclaje 0.25 kg. La página Web en la que se pueden consultar los datos sobre emisiones del tipo de las dioxinas es (www.ec.gc.ca/dioxin/english/inventory.cfm).

Situación de México

Características de la Industria Química

Cuadro 16. Contribución al Producto Interno Bruto (PIB) de la Industria Química

Sector	Contribución al PIB %
Fabricación de jabones, detergentes y cosméticos	15.0
Productos farmacéuticos	13.2
Fabricación de plásticos	14.0
Resinas sintéticas y fibras artificiales	13.0
Productos de hule	9.90
Sustancias básicas	9.80
Fertilizantes y alimento animal	1.60
Otros productos químicos	14.0

Fuente: PNUMA/GEF. Reporte Regional de Norte América sobre la Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes 2002.

Cuadro 17. Distribución Territorial de la Industria Química

Entidades	%
Estado de México	26
Distrito Federal	16
Veracruz	13
Nuevo León	7
Guanajuato	5
Jalisco	5
Tamaulipas	5
Puebla	4
Morelos	3
Tlaxcala	2
Hidalgo	2
Durango, Chihuahua, Baja California	4
Querétaro, San Luis Potosí, Michoacán	3
Chiapas, Oaxaca, Tabasco	2

Fuente: PNUMA/GEF. Reporte Regional de Norte América sobre la Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes 2002.

Importación y Exportación de Hexaclorobenceno

El balance de los datos integrados de las importaciones y exportaciones del HCB en México se incluye en el Cuadro 18.

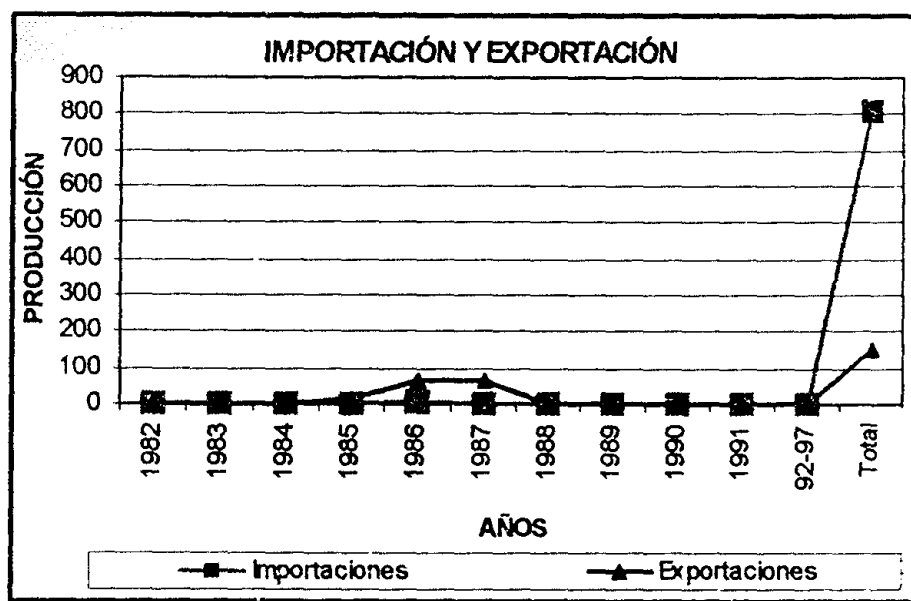
Cuadro 18. Importación y Exportación de HCB en México (tons)

Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Producción	3007	3820	3634	3890	1822	1268	1752	2051	1889	2102	1619	2889
Importaciones	161	192	194	96	56	49	49	4	0	0	0	0
Exportaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo (Ag.)	3168	4012	3828	3986	1878	1317	1801	2055	1889	2102	1619	2889

Año	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	92-97	Total
Producción	1967	1431	1172	1424	1441	1366	1543	1717	948	420	0	43172
Importaciones	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0	810
Exportaciones	0	0	0	14	68	68	0	0	0	0	0	150
Consumo (Ag.)	1967	1431	1172	1410	1380	1300	1543	1717	948	420	0	43832

Fuente: ANIQ. Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana 1970-1997.

Figura 7. Importación y Exportación de 1981-1997



Datos: ANIQ Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana (1997)
Realizada por: VEDI Angélica Galindo García

Producción de Llantas.

En el apéndice C del Inventario de Emisiones Contaminantes sección 1 12© (EPA, 1998) se presenta el desarrollo de los factores de emisión de hexaclorobenceno en los procesos de fabricación de llantas, los cuales al multiplicados por la cantidad de hule empleado, generan las estimaciones reportadas de emisiones.

En el Cuadro 19 se presentan los procesos de fabricación que pueden generar emisiones de HCB en México así como la cantidad promedio de hule utilizado en cada uno de ellos;

también se presentan los factores de emisión y las emisiones estimadas para el año de 1999. Para cada proceso de manufactura de llantas, se emplea una cantidad diferente de hule y la emisión estimada de HCB se calculó con base en el factor de emisión por llanta obtenido en un estudio de la Asociación de Manufactura de Hule de Estados Unidos (Rubber Manufacturers Association, 1990).

Cuadro 19. Factores Empleados y Emisiones de HCB en México en 1999

Proceso	Hule empleado kg/llanta	Hule empleado ton/año	Factor de emisión ng _{HCB} /kg _{HCB}	Emisión kg _{HCB}
Mezclado	0.556	13,900	69	0.959
Molienda	1.112	27,800	24.9	0.692
Extracción	0.334	8,350	43.7	0.365
Calandrado	0.222	5,550	2.8	0.015
TOTAL	2.224	55,600		2.03
Emisión agregada por llanta	Factor de emisión: 1.492 ng _{HCB} / llanta			37.3
Emisión estimada anual [kg/año]				39.33

Nota: Se utilizó el factor de emisión estimado por la Asociación de Manufactura de Hule de Estados Unidos (Rubber Manufacturers Association, 1990).

Fuente: Producción en 1999: 25 millones de llantas (INCREMI, 2000)

Producción y aplicación de plaguicidas

En 1970 existían en México tres compañías que elaboraban Hexaclorobenceno, las cuales eran propiedad del gobierno; de 1980 a 1984 solamente dos compañías seguían produciéndolo y en 1991 solamente una de estas empresas seguía siendo de propiedad federal y a partir de 1993 fue privatizada. Antes de 1970 existían 19 compañías registradas como distribuidoras del HCB en México, y desde 1992 ya no hubo ninguna producción ó comercialización en México (Figura 9). Sin embargo, en el Reporte Regional para América del Norte 2002 de la Evaluación Regional de Sustancias Tóxicas Persistentes, del PNUMA-GEF (página 27), se indica que en 13 estados de la República se está usando ilegalmente el HCB, entre los cuales se encuentran principalmente Tamaulipas, Chiapas, Hidalgo y Sonora.

La aplicación de plaguicidas en México seguramente es una fuente importante de emisiones de HCB a la atmósfera; pero no se pueden estimar las emisiones asociadas, ya que no existe información de las cantidades de plaguicidas que se usan.

Limites Ambientales

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, establece límites de concentración del HCB que hacen a un residuo peligroso e identifica las siguientes fuentes no específicas de generación de residuos peligrosos clorados:

- Sedimento de plantas de cloración
- Plantas de clorobenceno
- Tetracloruro de carbono
- Residuos de tetra, penta ó hexaclorobenceno provenientes de su uso como reactante, producto intermedio o componente de una formulación, bajo condiciones alcalinas.

La concentración máxima permitida de lixiviación al ambiente de HCB es 0.13 mg/l

Descripción de los Procesos de Incineración de Residuos Peligrosos en México.

En México existen actualmente 22 instalaciones autorizadas para realizar la incineración de residuos peligrosos, particularmente residuos biológico-infecciosos, en 11 estados, aunque una parte importante se concentra en 3 zonas del país, que son la Zona Metropolitana del Valle de México, Monterrey y Guadalajara y el resto se distribuye en otras ocho entidades.

La mayoría de los incineradores que existen en México funcionan bajo el sistema de incineración de cámara dual; esto es, una cámara primaria donde se realiza la combustión de los residuos alimentados y una cámara secundaria, donde se queman los gases generados en el paso anterior.

La mayor parte de estos incineradores realizan la alimentación de residuos de manera manual, siendo las instalaciones de mayor capacidad las únicas en las que la alimentación se lleva a cabo de manera automática mediante dispositivos que funcionan a presión negativa. Es importante mencionar que la práctica de alimentación manual está considerada como prohibida en el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY NOM-098-ECOL-2000: protección ambiental-Incineración Salud, Ambiente y Trabajo, publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2000.

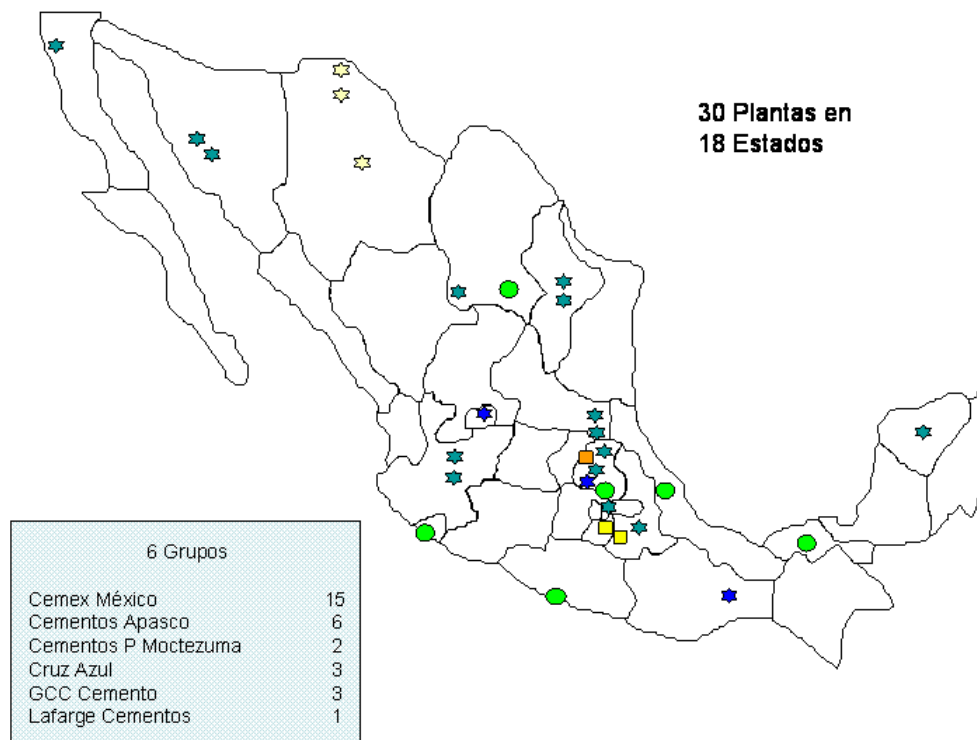
El combustible que se emplea en casi todos los casos es gas licuado del petróleo GLP y una minoría también utiliza diesel como combustible. Los equipos de control de emisiones de las instalaciones en su mayoría son lavadores de gases con una baja eficiencia, ya que se trata de sistemas sin marca que adaptan al incinerador, pero que no se fabrican ni se instalan con un control de calidad aceptable.

Co-procesamiento de residuos en hornos cementeros en México

En México se ha autorizado el empleo de residuos como combustible alterno en 26 plantas de cemento, las que en el año 2002 co-procesaron alrededor de 90,514 toneladas de residuos, lo que equivalió a una sustitución del 2% de los combustibles fósiles tradicionales empleados.¹² La distribución geográfica de dichas plantas aparece en la Figura 8.

¹² CANACEM. Aprovechamiento de residuos mediante su co-procesamiento en hornos de cemento. En: Cortinas de Nava C. Manual 3. Valorización de Residuos, Participación Social e Innovación en su Gestión. Cámara de Diputados. LVIII Legislatura. PVEM. 2003.

Figura 8. Distribución geográfica de la industria del cemento mexicana



Fuente: CANACEM. Aprovechamiento de residuos mediante su co-procesamiento en hornos de cemento. En: Cortinas de Nava C. Manual 3. Valorización de Residuos, Participación Social e Innovación en su Gestión. Cámara de Diputados. LVIII Legislatura. PVEM. 2003.

Por tratarse de una de las fuentes potenciales de COPs no intencionales, se describen a continuación las características de la planta cementera de México, para ponerla en perspectiva respecto a otras plantas en el mundo.

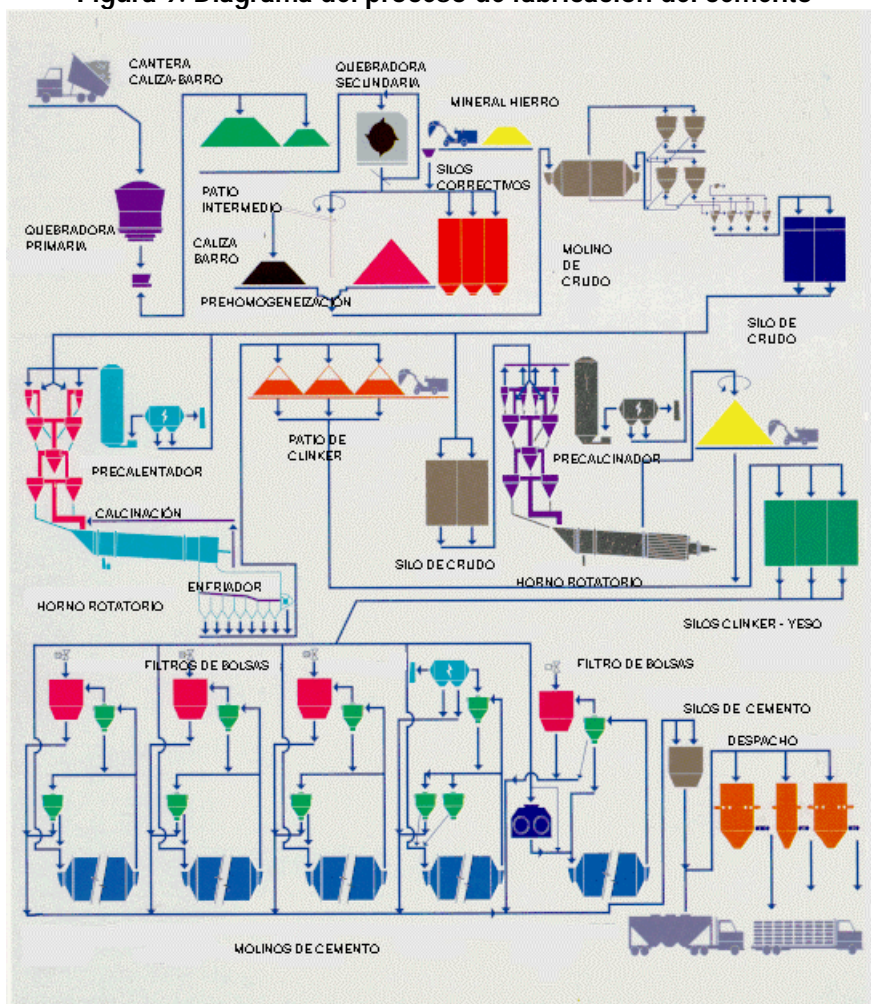
Un aspecto a considerar en primer término, es el referente a los tipos de procesos mediante los cuales se produce el cemento, que pueden ser húmedos y secos, ya que los segundos tienen una eficiencia mayor y un potencial menor de generación de emisiones contaminantes.

En México, se considera que en un 99% los hornos para la producción de cemento cuentan con hornos que utilizan el proceso seco y desde la última década el 100% de dicha producción se realizó en este tipo de procesos (ver Cuadro 20 y Figura 9).

Cuadro 20. Etapas de producción de cemento mediante procesos secos

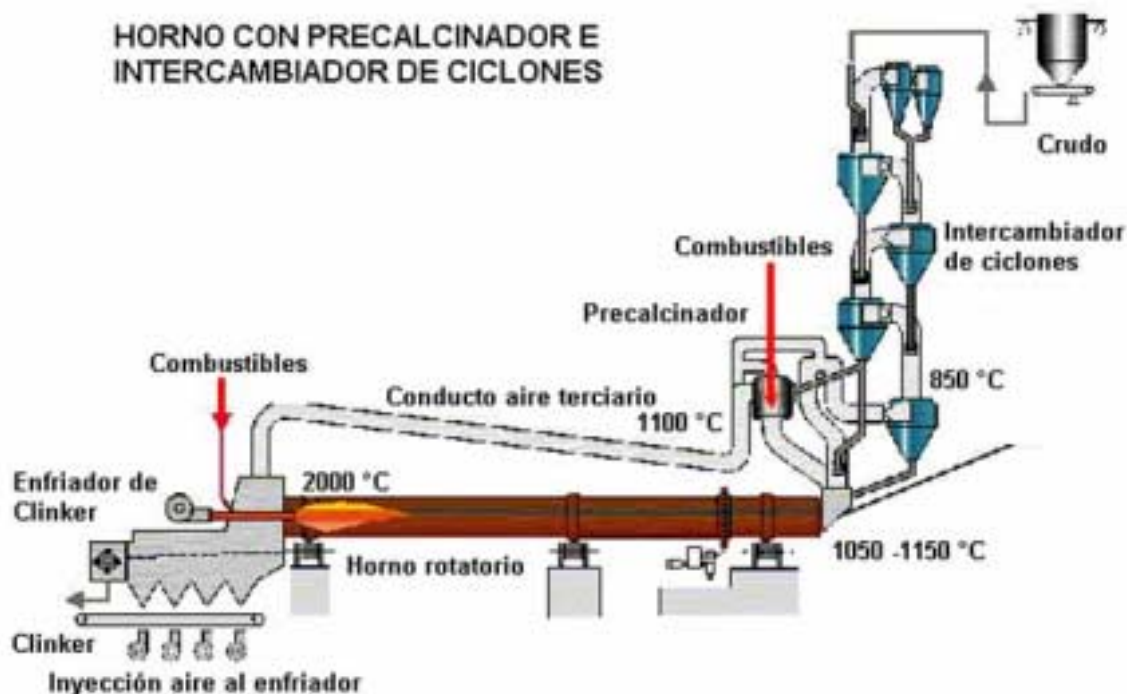
- i) Obtención, preparación y molienda de materias primas (caliza, marga, arcilla, pizarra, etcétera) que aportan los siguientes compuestos minerales: carbonato cálcico (CaCO_3), óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Estos materiales son dosificados a los sistemas de molienda y se obtiene una mezcla de polvo de los minerales denominada "crudo" o "harina".
- ii) El crudo obtenido se introduce por el extremo superior de un precalentador (o "intercambiador de ciclones") compuesto de 4 o más etapas. Al caer, el crudo es calentado hasta 850°C por los gases calientes ascendentes. A esta temperatura se produce una descarbonatación parcial. A continuación, el crudo es introducido en un horno rotatorio inclinado y calentado por una llama de $1,800^\circ\text{C}$ a $2,000^\circ\text{C}$, donde se completa la sinterización a $1,450^\circ\text{C}$ y se obtiene un producto intermedio denominado clínker.
- iii) El cemento se produce mediante la molienda del clínker junto con otros componentes como: yeso (regulador de fraguado) y adiciones (escorias de alto horno, cenizas volantes, caliza, puzolanas), para dar lugar a los distintos tipos de cemento. El material es dosificado a los sistemas de molienda de donde se obtienen los diferentes tipos de cementos.

Figura 9. Diagrama del proceso de fabricación del cemento



La Figura 10 describe los hornos cementeros en los cuales se co-procesan los residuos.

Figura 10. Diagrama de un horno de clínker con precalentador de 5 etapas (Intercambiador de ciclones).



Cuadro 21. Condiciones que reúnen los hornos cementeros para realizar el co-procesamiento de residuos

- Altas temperaturas (de 1000°C hasta 2000°C) y largos tiempos de residencia en atmósfera rica en oxígeno que asegura la completa destrucción de los compuestos orgánicos presentes en los residuos.
- Turbulencia muy alta, que asegura una buena combustión.
- Ambiente alcalino. Los gases ácidos formados en la combustión por la presencia de azufre de los combustibles y eventuales trazas de halogenados, son neutralizados por la materia prima, de naturaleza alcalina, y se incorporan al clínker como sales inertes.
- La interacción de los gases de combustión con la materia prima presente en el horno, garantiza que la parte no combustible del residuo quede retenida en el proceso y se incorpore al clínker.
- Retención de cenizas en el clínker. No se generan residuos que deban ser tratados posteriormente, ni se incrementan las emisiones a la atmósfera, con respecto al uso de combustibles convencionales.
- Disminución de las emisiones globales a la atmósfera respecto a esos residuos, si se tuvieran que incinerar posteriormente.
- Se reduce el consumo de combustibles tradicionales no renovables, tales como carbón, gas natural o derivados del petróleo, lo que representa una opción en el aprovechamiento sustentable de estos recursos.

En el curso del año 2003 se publicó la norma oficial mexicana que regula el co-procesamiento de residuos en hornos cementeros y se la NOM relativa a la incineración de residuos se encuentra en proceso de incorporación de observaciones recibidas tras de la publicación del proyecto correspondiente (PROY-NOM-098-ECOL-2002) en el Diario Oficial de la Federación en junio 2003.

Manejo de residuos sólidos urbanos en México

Dado que la quema a cielo abierto de basura, así como los incendios de los rellenos sanitarios o de los tiraderos en los que se depositan los residuos sólidos municipales constituyen fuentes potenciales de COPs, se describe a continuación la situación de México al respecto.

En las últimas décadas en México la generación de residuos sólidos municipales (RSM) ha crecido de manera considerable (aproximadamente se generan 30.7 millones de toneladas métricas anuales). En promedio cada persona genera 0.853 Kg. de basura por día (o aproximadamente 311 Kg/año). La composición de los residuos sólidos municipales, su distribución geográfica y sus formas de manejo aparecen descritas en los cuadros siguientes.

Cuadro 22. Generación de residuos sólidos municipales por composición, 1999-2002
(Miles de toneladas)

Composición	1999	2000	2001	2002
Total	30 952.0	30 732.0	31 488.6	32 173.0
Papel, cartón, productos de papel	4 354.9	4 324.1	4 430.4	4 526.8
Textiles	461.2	457.9	469.2	479.4
Plásticos	1 355.7	1 346.1	1 379.2	1 409.2
Vidrios	1 826.2	1 813.2	1 857.8	1 898.2
Metales	897.0	891.0	913.0	933.0
Aluminio	495.2	491.7	503.8	514.8
Ferrosos	249.2	247.4	253.5	259.0
Otros ferrosos (*)	153.2	152.1	155.9	159.3
Basura de comida, de jardines y materiales orgánicos similares	16 218.8	16 104.1	16 500.0	16 859.0
Otro tipo de basura (residuos finos, pañal desechable, etc.)	5 837.5	5 796.2	5 938.7	6 067.9

(*) Incluye cobre, plomo, estaño y níquel.

FUENTE: Página WebINEGI. 2003. con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

Cuadro 23. Generación de residuos sólidos municipales por entidad federativa, 1999-2002
(Miles de toneladas)

Entidad federativa	1999	2000	2001	2002
Estados Unidos Mexicanos	30 952.3	30 733.3	31 488.5	32 173.6
Aguascalientes	276.0	275.8	285.3	293.4
Baja California	843.6	941.0	985.2	1 027.4
Baja California Sur	127.5	134.9	140.4	145.7
Campeche	234.8	189.6	191.8	193.3
Coahuila de Zaragoza	683.4	683.3	700.6	715.8
Colima	148.1	153.0	158.3	163.3
Chiapas	882.1	883.0	909.4	933.4
Chihuahua	950.1	993.8	1 029.3	1 062.5

Entidad federativa	1999	2000	2001	2002
Distrito Federal	4 350.7	4 350.7	4 350.7	4 350.7
Durango	416.3	399.7	406.7	412.6
Guanajuato	1 377.4	1 371.3	1 406.5	1 437.0
Guerrero	816.4	765.0	783.3	799.2
Hidalgo	510.4	510.7	523.7	535.5
Jalisco	2 258.8	2 168.2	2 221.0	2 267.1
México	5 091.1	4 972.7	5 148.3	5 310.9
Michoacán de Ocampo	974.6	963.6	982.0	997.5
Morelos	447.8	458.8	471.7	483.2
Nayarit	238.9	229.6	234.2	238.1
Nuevo León	1 485.6	1 497.0	1 540.1	1 579.0
Oaxaca	681.9	685.1	702.5	720.5
Puebla	1 322.2	1 347.7	1 386.6	1 422.7
Querétaro de Arteaga	389.9	416.0	431.9	446.6
Quintana Roo	245.6	269.2	285.1	301.2
San Luis Potosí	593.6	579.4	592.7	604.4
Sinaloa	798.0	759.4	776.3	790.7
Sonora	657.9	660.4	675.8	689.2
Tabasco	522.1	521.3	536.2	549.5
Tamaulipas	817.8	850.5	877.8	902.7
Tlaxcala	219.3	229.8	236.7	243.4
Veracruz de Ignacio de la Llave	1 826.4	1 724.4	1 754.3	1 779.6
Yucatán	435.6	437.9	449.2	459.5
Zacatecas	328.6	310.6	314.7	318.0

FUENTE: Página Web INEGI 2003. Con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

Cuadro 24. Número de instalaciones y capacidad de disposición de residuos sólidos municipales, 1999-2002

Concepto	1999		2000		2001		2002	
	No.	Capacidad (Miles de toneladas)	No.	Capacidad (Miles de toneladas)	No.	Capacidad (Miles de toneladas)	No.	Capacidad (Miles de toneladas)
Lugares de entierro	97	16 936.1	76	16 912.3	77	18 604.6	84	19 210.8
Rellenos sanitarios	70	16 428.7	71	14 490.5	64	15 252.7	68	15 579.9
Rellenos de tierra controlados	27	507.5	5	2 421.8	13	3 351.9	16	3 630.9
Sitios no controlados (Tiraderos a cielo abierto) (*)	ND	13 286.4	ND	13 096.5	ND	12 141.9	ND	12 182.4

NOTA: La capacidad se refiere a la cantidad de basura que recibe anualmente cada uno de los sitios.

(*) No se tienen registrados ya que comúnmente se trata de tiraderos clandestinos. La capacidad para estos sitios se calcula con base en el total generado de residuos sólidos municipales, menos lo dispuesto en rellenos sanitarios y rellenos de tierra controlados, menos lo recuperado y reciclado.

ND No disponible.

FUENTE: Página Web INEGI. 2003. Con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

Cuadro 25. Generación, recolección y disposición final de residuos sólidos municipales, 1999-2000 (Miles de toneladas)

Concepto	1999	2000	2001	2002
Generación de residuos sólidos municipales	30 952.0	30 733.0	31 488.6	32 173.6
Recolección	26 194.7	26 009.3	26 648.8	27 669.3
Disposición final (*)	30 222.6	30 008.7	30 746.5	31 393.1
Rellenos sanitarios	16 428.7	14 490.5	15 252.7	15 579.9
Rellenos de tierra controlado	507.5	2 421.8	3 351.9	3 630.9
Sitios no controlados (Tiraderos a cielo abierto)	13 286.4	13 096.5	12 141.9	12 182.4

(*) La disposición se refiere al depósito permanente de los residuos sólidos tanto en sitios habilitados total o parcialmente para minimizar los impactos negativos a la salud pública y al ambiente, en este caso rellenos sanitarios y rellenos de tierra controlados como en sitios no controlados. No todo lo que llega a estos últimos lo hace a través de los servicios municipales de recolección, por ello los totales de recolección no coinciden. La diferencia entre el total de generación y el de disposición final se debe a reciclaje de residuos recuperados.

FUENTE: Página Web INEGI. 2003. Con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

Resumen de Fuentes Potenciales de Hexaclorobenceno en México

De acuerdo a la información recopilada sobre la generación de Hexaclorobenceno ya sea por la fabricación del producto o por la generación a través de reacciones secundarias (subproductos), se elaboró a partir del directorio de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) una relación de industrias en México, a las cuales a través de convenios se podrían realizar mediciones directas para determinar el potencial de generación de HCB y a partir de ello proponer factores de emisión acordes a la tecnología utilizada en México (Cuadro 26).

Cuadro 26. Resumen de Fuentes Potenciales de Hexaclorobenceno en México

Giros	Principales empresas
<i>Fabricantes o comercializadoras de solventes orgánicos:</i>	- GRUPO ADYSA - ICI MÉXICO, S.A. DE C.V. - PETRÓLEOS MEXICANOS - QUIMOBÁSICOS
<i>Fabricantes de plaguicidas</i>	- AGROGEN, S.A. DE C.V. - TEKCHEM, S.A. DE C.V. - BAYER DE MÉXICO, S.A. DE C.V.
<i>Fabricantes de colorantes</i>	- BASF MEXICANA, S.A. DE C.V. - CLARIANT (MÉXICO), S.A. DE C.V. - PYOSA, S.A. DE C.V. - CIBA ESPECIALIDADES QUIMICAS MÉXICO, S.A. DE C.V. - DYSTAR DE MÉXICO, S.A. DE C.V.
<i>Fabricantes de pentaclorofenol</i>	- KGM DE MÉXICO, S.A. DE C.V. - POLAQUÍMIA, S.A. DE C. V.
<i>Fabricantes o comercializadoras de tricloroetano</i>	- DISTRIBUIDORA QUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - EGON MEYER, S.A. DE C.V. - MATERIAS QUÍMICAS DE MÉXICO, S.A. DE C.V. - PRVEQUIM-PROQUIBA, S.A. DE C.V.
<i>Productora o comercializadora de triclorofluorometano y tricloroetano</i>	- DUPONT, S.A. DE C.V.

Giros	Principales empresas
<i>Fabricantes o comercializadoras de tricloruro de fósforo</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ELECTRO QUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - QUÍMICA FRANCO MEXICANA, S.A. DE C.V. - SOLUTIA MÉXICO, S. DE R. L. DE C.V.
<i>Fabricantes o comercializadoras de percloroetileno</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ATLANTA QUÍMICA, S.A. DE C.V. - DISTRIBUIDORA QUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - DOW QUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - EGON MEYER, S.A. DE C.V. - GALVANOQUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - GRUPO ADYSA - MATERIAS PRIMAS, S.A. DE C.V. - QUÍMICA DELTA, S.A. DE C.V. - PETROLEOS MEXICANOS - PROVEQUIM-PROQUIBA, S.A. DE C.V. - RODEQUIM, S.A. DE C.V. - SOLVMEX, S.A. DE C.V.
<i>Fabricantes o comercializadoras tricloroetileno</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ATLANTA QUÍMICA, S.A. DE C.V. - DISTRIBUIDORA QUÍMICA MEXICANA, S.A. DE C.V. - GRUPO ADYSA - EGON MEYER, S.A. DE C.V. - MATERIAS PRIMAS, S.A. DE C.V. - MATERIAS QUÍMICAS DE MEX., S.A. DE C.V. - PETROLEOS MEXICANOS - PROVEQUIM-PROQUIBA, S.A. DE C.V. - RODEQUIM, S.A. DE C.V. - ICI MÉXICO, S.A. DE C.V. - MALLINCKRODT BAKER, S.A. DE C.V. - MERCK MÉXICO, S.A.
<i>Fabricantes o distribuidoras de hule clorado.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ATLANTA QUÍMICA, S.A. DE C.V. - CHARLOTTE CHEMICAL INC. - DISTRIBUIDORAS DE INDUSTRIAS, S.A. DE C.V.
<i>Fabricantes o comercializadoras ciclohexano</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ATLANTA QUÍMICA, S.A. DE C.V. - BASF MEXICANA, S.A. DE C.V. - EGON MAYER, S.A. DE C.V. - GRUPO ADYSA - QUÍMICA DELTA, S.A. DE C.V. - QUÍMICA ARGOSTAL, S.A. DE C.V. - RHODIA DE MEXICO, S.A. DE C.V. - SILER INDUSTRIAL POLIQUIMIA, S.A. DE C.V. - SOLVMEX, S.A. - ETEPAN MÉXICO, S.A. DE C.V. - UNIÓN CARBIDE QUÍMICA Y PLASTIF., S.A. DE C.V. - UNIVEX, S.A. DE C.V.
<i>Fabricantes de cloro</i>	<ul style="list-style-type: none"> - CLORO DE TEHUANTEPEC, S.A. DE C.V. - DOW QUÍMICA MEXICANO, S.A. DE C.V. - INDUSTRIAS QUÍMICAS DEL ITSMO, S.A. DE C.V. - PENNWALT, S.A. DE C.V.
<i>Fabricante de clorofluorocarbonos propelentes o refrigerantes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - QUIMOBÁSICOS, S.A. DE C.V.
<i>Instalaciones que utilizan carbón como combustible para la generación de energía eléctrica.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - CARBOELÉCTRICAS DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
<i>Industria Cementera.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - CEMENTOS MEXICANOS - CEMENTOS APASCO - CEMENTOS COOPERATIVA DE LA CRUZ AZUL - CEMENTOS CHIHUAHUA

Recomendaciones del PNUMA-GEF Respecto a las Sustancias Tóxicas Persistentes que se Liberan en América del Norte

Recomendaciones Generales Para los Tres Países de América del Norte: Canadá, Estados Unidos y México

Áreas Prioritarias

Áreas Prioritarias	Aspectos a Considerar
Sustancias tóxicas persistentes emergentes	América del Norte debe impulsar su capacidad existente y enfocarse a la investigación y evaluación de estas sustancias.
Transferencia de tecnologías y conocimientos en la región	Formar redes de científicos que trabajen juntos sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Intercambios científicos • Contaminantes emergentes • Transferencia de tecnologías • Intercambio de información y alineamiento de los procedimientos de evaluación
Ratificación del Convenio de Estocolmo por los tres países	Ratificación: Canadá y México ya lo ratificaron Estados Unidos sólo lo ha firmado. Formulación de los Planes Nacionales de Implementación del Convenio (en curso en México). Necesidad de criterios de evaluación de los planes. Necesidad de definir roles y responsabilidades
Atender las necesidades de investigación y monitoreo, así como las brechas de datos	Acerca de: <ul style="list-style-type: none"> • Fuentes: particularmente en México • Propiedades físicas y químicas de las PTS • Inventarios de emisiones, incluyendo la cuantificación de las fuentes, sumideros y reservorios • Variabilidad espacial de los niveles de PTS para un gran número de sustancias químicas • Rutas de exposición en alimentos, agricultura y acuicultura para poblaciones expuestas y sistemas de producción de alimentos de subsistencia • Quema a cielo abierto, incluyendo el establecimiento de una definición, la adopción de liderazgo y fomento de una campaña global al respecto
Mejorar la infraestructura de México	Completar la información nacional sobre la infraestructura para: <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones, fuentes, sumideros y reservorios. • Áreas con degradación severa • Monitoreo de contaminantes en varios compartimientos • Desarrollo de capacidades analíticas para lograr la comparación de datos y de información entre los tres países
Crear un Programa para la Región de América del Norte sobre Prevención y Control de la Contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir un marco para la educación pública, transferencia de tecnología y educación sobre mejores prácticas. • Estimular la comunicación entre las infraestructuras existentes. • Necesidad de una estrategia específica para México a fin de que utilice y adopte tecnologías disponibles en Canadá y Estados Unidos • En las áreas en las que se tiene cierta confianza, adoptar acciones para el control y reducción de las PTS
Educación pública en América del Norte	<ul style="list-style-type: none"> • Organizaciones No Gubernamentales (ONG) • Niveles adecuados del Gobierno • Enfoque centrado en niños, mujeres y poblaciones indígenas.

Recomendaciones Particulares para México

Áreas Prioritarias	Aspectos a Considerar
Información	<p>Se requiere establecer un sistema de información fácil de usar, que proporcione datos y estadísticas sobre el manejo de las sustancias tóxicas persistentes, las medidas para la prevención y control de la contaminación que producen, así como para determinar sus riesgos a la salud, o las emergencias y desastres que las involucran.</p> <p>Se recomienda que los grandes productores de agroquímicos se involucren más en el manejo de las sustancias químicas.</p>
Capacitación	<p>No sólo se debe proporcionar entrenamiento sobre buenas prácticas de manejo de PTS, sino también acerca de las medidas para prevenir o reducir riesgos laborales, para la población general y quiénes intervienen en la atención a emergencias que les involucran. Para ello habrá que desarrollar manuales.</p>
Monitoreo	<p>Aunque las técnicas de monitoreo y análisis ambiental de PTS son conocidas, se requiere establecer programas para mejorar los muestreos y análisis que se están llevando a cabo en el marco de programas de aseguramiento de calidad.</p> <p>La Comisión Nacional del Agua no tiene programas para monitorear PTS a través de redes de muestreo y análisis, a fin de basar sus decisiones al respecto, lo cual es recomendable.</p> <p>Es deseable identificar y evaluar posibles "sitios calientes" en donde se hayan alcanzado niveles de contaminación con estas sustancias elevados y a partir de los cuales puedan estar recirculando en el ambiente o provocando exposiciones riesgosas.</p>
Participación de actores claves	<p>Se recomienda que los grandes productores de agroquímicos se involucren más en el manejo de las sustancias químicas.</p>
Control de venta y consumo ilegal	<p>Se necesitan establecer mecanismos para la detección y sanción de este tipo de prácticas y difundir información sobre los riesgos derivados de las mismas.</p>
Establecimiento de prioridades	<p>Se deben establecer criterios y procedimientos para priorizar las PTS, incluyendo conceptos como manejo, movimiento o transferencia, usos, efectos en la salud y el ambiente, entre otros.</p>
Estandarización regional	<p>Se requieren aplicar soluciones regionales integrales para estandarizar procedimientos, criterios, acciones y programas de control, para mitigar de manera efectiva y reducir el alto nivel de accidentes que involucran sustancias químicas y la exposición a materiales tóxicos en la población general.</p>

ANEXO 1

Anexos del Convenio de Estocolmo

ANEXO A ELIMINACIÓN PARTE I

Aldrin
Clordano
Dieldrin
Endrin
Heptacloro
Hexaclorobenceno
Mirex
Toxafeno
Bifenilos Policlorados

PARTE II

Bifenilos Policlorados

ANEXO B RESTRICCIÓN PARTE I

DDT

ANEXO C PRODUCCIÓN NO INTENCIONAL PARTE I

(Contaminantes orgánicos persistentes sujetos a los requisitos del artículo 5°.)

Dibenzoparadioxinas y Dibenzofuranos Policlorados
Hexaclorobenceno
Bifenilos Policlorados

ANEXO C
PARTE II
CATEGORÍAS DE FUENTES

(Las dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados, el hexaclorobenceno y los bifenilos policlorados se forman y se liberan de forma no intencional a partir de procesos térmicos, que comprenden materia orgánica y cloro, como resultado de una combustión incompleta o de reacciones químicas. Las siguientes categorías de fuentes industriales tienen un potencial de formación y liberación relativamente elevadas de estos productos al medio ambiente.)

- a) Incineradores de desechos. Incluidos los co-incineradores de desechos municipales, peligrosos o médicos o de fango cloacal.
- b) Desechos peligrosos procedentes de la combustión en hornos de cemento.
- c) Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental o productos químicos que producen cloro elemental para el blanqueo.
- d) Los siguientes procesos térmicos de la industria metalúrgica:
 - i) Producción secundaria de cobre;
 - ii) Plantas de sinterización en la industria del hierro e industria siderúrgica.
 - iii) Producción secundaria de aluminio;
 - iv) Producción secundaria de zinc.

PARTE III. CATEGORÍAS DE FUENTES

(Pueden también producirse y liberarse en forma no intencionada dioxinas y furanos, hexaclorobenceno y bifenilos policlorados a partir de las siguientes categorías de fuentes.)

- a) Quema a cielo abierto de desechos, incluida la quema en vertederos o rellenos sanitarios.
- b) Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en la parte II.
- c) Fuentes de combustión domésticas.
- d) Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas o calderas industriales.
- e) Instalaciones de combustión de madera u otros combustibles de biomasa.
- f) Procesos de producción de productos químicos determinados, especialmente la producción de clorofenoles y cloroanil.
- g) Crematorios.
- h) Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo.
- i) Destrucción de carcasas de animales.
- j) Teñido (con cloroanil) y terminación (con extracción alcalina) de textiles y cueros.
- k) Plantas de desguace para el tratamiento de vehículos una vez acabada la vida útil.
- l) Combustión lenta de cables de cobre.
- m) Desechos de refinerías de petróleo.

ANEXO 2

Convenio de Estocolmo

Parte V: Orientaciones Generales sobre las Mejores Técnicas Disponibles y las Mejores Prácticas Ambientales

A. Medidas generales de prevención relativas a las mejores técnicas disponibles y a las mejores prácticas ambientales.

Debe asignarse prioridad al estudio de criterios para evitar la formación y la liberación de los productos químicos incluidos en la Parte I. Entre las medidas útiles podrían incluirse:

- a) Utilizar tecnologías que generen pocos desechos.
- b) Utilizar sustancias menos peligrosas.
- c) Fomentar la regeneración y el reciclado de los desechos y las sustancias generadas y utilizadas en los procesos.
- d) Sustituir materias primas que sean contaminantes orgánicos persistentes o en el caso de que exista un vínculo directo entre los materiales y las liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes de la fuente.
- e) Adoptar programas de buen funcionamiento y mantenimiento preventivo.
- f) Mejorar la gestión de desechos con miras a poner fin a la incineración de desechos a cielo abierto y otras formas incontroladas de incineración, incluida la incineración en vertederos. Al examinar las propuestas para construir nuevas instalaciones de desechos, deben considerarse alternativas como, por ejemplo, las actividades para reducir al mínimo la generación de desechos municipales y médicos, incluidos la regeneración de recursos, la reutilización, el reciclado, la separación de desechos y la promoción de productos que generan menos desechos. Dentro de este criterio deben considerarse cuidadosamente los problemas de salud pública.
- g) Reducir al mínimo los productos químicos objeto del Convenio, como contaminantes en otros productos.
- h) Evitar el uso de cloro elemental o productos químicos que generan cloro elemental para blanqueo.

B. Mejores técnicas disponibles.

El concepto no está dirigido a la prescripción de una técnica o tecnología específica, sino a tener en cuenta las características técnicas de la instalación de que se trate, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. Las técnicas de control apropiadas para reducir las liberaciones de los productos químicos incluidos en la parte I son en general las mismas. Al determinar las mejores técnicas disponibles se debe prestar atención especial, en general o en casos concretos a los aspectos señalados a continuación.

a) **Consideraciones generales**

- i) Naturaleza, efectos y masa de las emisiones de que se trate: las técnicas pueden variar dependiendo del tamaño de la fuente.
- ii) Fechas de puesta en servicio de las instalaciones nuevas o existentes.
- iii) Tiempo necesario para incorporar la mejor técnica disponible.
- iv) Consumo y naturaleza de las materias primas utilizadas en el proceso y su eficiencia energética.
- v) Necesidad de evitar o reducir al mínimo el impacto general de las liberaciones en el medio ambiente y los peligros que representan para éste.
- vi) Necesidad de evitar accidentes y reducir al mínimo sus consecuencias para el medio ambiente.
- vii) Necesidad de salvaguardar la salud ocupacional y la seguridad en los lugares de trabajo.
- viii) Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables que se han ensayado con resultados satisfactorios a escala industrial.
- ix) Avances tecnológicos y cambio de los conocimientos y la comprensión en el ámbito científico.

b) **Medidas de reducción de las liberaciones de carácter general:** Al examinar las propuestas de construcción de nuevas instalaciones o de modificación importante de instalaciones existentes que utilicen procesos que liberan productos químicos de los incluidos en el presente anexo, deberán considerarse de manera prioritaria los procesos, técnicas o prácticas de carácter alternativo que tengan similar utilidad pero que eviten la formación y liberación de esos productos químicos. En los casos en que dichas instalaciones vayan a construirse o modificarse de forma importante, además de las medidas de prevención descritas en la sección A de la Parte V, para determinar las mejores técnicas disponibles se podrán considerar también las siguientes medidas de reducción:

- i) Empleo de métodos mejorados de depuración de gases de combustión, tales como la oxidación térmica o catalítica, la precipitación de polvos o la absorción.
- ii) Tratamiento de residuos, aguas residuales, desechos y fangos cloacales mediante, por ejemplo, tratamiento térmico o volviéndolos inertes o mediante procesos químicos que les quiten la toxicidad.
- iii) Cambios de los procesos que den lugar a la reducción o eliminación de las liberaciones, tales como la adopción de sistemas cerrados.
- iv) Modificación del diseño de los procesos para mejorar la combustión y evitar la formación de los productos químicos incluidos en el anexo, mediante el control de parámetros como la temperatura de incineración o el tiempo de permanencia

C. Mejores prácticas ambientales

La Conferencia de las Partes podrá elaborar orientación con respecto a las mejores prácticas ambientales.

ANEXO 3

Generación de COPs en la Combustión No-Controlada o a Cielo Abierto

Definiciones

Combustión no controlada significa que los materiales combustibles no son preparados y no se aporta aire para facilitar la combustión.

Quema a cielo abierto significa la combustión de diferentes materiales o combustibles sin la intervención de ningún equipo para facilitar la combustión o quema de los mismos

Actividades que involucran la combustión no controlada a cielo abierto

Categorías
<ul style="list-style-type: none">• Combustión de biomasa:<ul style="list-style-type: none">a) como resultado de la quema voluntaria de residuos de cosechas y de madera o arbustos en los bosques, así como incendios forestales accidentales,b) limpieza de lotes baldíos para construcción,c) prácticas agrícolas.• Quema de basura• Incendios accidentales de vehículos, edificios y materiales almacenados.

ANEXO 4

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

La Oficina de Sustancias Químicas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha preparado este instrumental (tool kit), "...con el fin de ayudar a los países en la identificación de fuentes y estimación de liberaciones de dioxinas y furanos."

Es importante mencionar que los cerca de 16 inventarios elaborados hasta el año 2000 en la materia, adolecen de la falta de datos y de una metodología común, por lo cual son incompletos y difícilmente comparables. Lo anterior llevó a desarrollar este instrumental, con el propósito de evaluar las fuentes de COPs no intencionales utilizando un método que permita estimar su liberación a lo largo del tiempo y en distintos países de manera comparable.

El PNUMA recomienda ensayar el uso del instrumental y comparar las estimaciones que se obtengan con datos reales para comprobar el grado de concordancia existente entre unas y otros, así como revisar y mejorar los inventarios a medida que se vayan obteniendo nuevos datos sobre emisiones y las nuevas cifras puedan perfeccionarlos. A fin de recabar y difundir las experiencias de los distintos países ha integrado la página Web siguiente: (www.chem.unep.ch./pops).

Aspectos Relevantes del Instrumental para Elaborar Inventarios de Dioxinas (PCDD) y Furanos (PCDF)

<i>Metodología efectiva</i>	Permite identificar los procesos industriales y no industriales importantes que liberan PCDD y PCDF a la atmósfera, agua, tierra y con productos y residuos en un determinado país y proceder a un examen sistemático para identificar cuáles de entre ellos son los más importantes.
<i>Directrices sobre el acopio de información</i>	Acerca de los procesos pertinentes, con la que podrá procederse a la clasificación de esos procesos en clases con emisiones similares.
<i>Bases de datos detallada</i>	De factores de emisión que facilite datos por defecto adecuados que puedan aplicarse y que sean representativos de la clase en la cual se ha agrupado el correspondiente proceso. En el futuro y a medida que vaya disponiéndose de nuevos datos de emisiones se irá poniendo al día esta base de datos.
<i>Directrices para el montaje y presentación</i>	De un inventario utilizando tanto factores de emisión por defecto como datos específicos de país de manera que los inventarios resultantes sean comparables.

Compartimientos Generales y o Medios a los que se Liberan las Dioxinas y Furanos

Atmósfera Agua Tierra Residuos Productos
--

De acuerdo con el PNUMA: “El principio básico consiste en reunir “estadísticas de actividad” que describen la cantidad de un proceso (por ejemplo, toneladas de un producto producidas cada año), y “factores de emisión” que describen la liberación de PCDD/PCDF a cada medio por unidad de actividad (por ejemplo, μg de Equivalente Tóxico o EQT $-\text{l/ton}$). Multiplicando ambos factores se obtienen las emisiones anuales.”

Para aplicar el instrumental y preparar el inventario se siguen las cinco etapas señaladas en el mismo, indicando cuáles son las diez principales categorías de fuente e incluye, entre otros:

1. Fuentes industriales y no industriales
2. Reservorios y lugares contaminados.

Para cada tipo de proceso se dan los parámetros fundamentales o sus características, a fin de asignar las emisiones a todos los medios sobre los que se dispone de datos. Para ello se requiere de una base de datos sobre plantas y procesos de la cual se obtenga la información más detallada posible sobre los mismos y estadísticas sobre cada actividad.