



**Programa de las Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente**



**GOBIERNO DE CHILE**  
COMISIÓN NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

# **Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs; Askareles)**

UN ESTUDIO DE CASO SOBRE  
LA APLICACIÓN DE GUIAS



**Programa de las Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente**



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

# **Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs; Askareles)**

UN ESTUDIO DE CASO SOBRE  
LA APLICACIÓN DE GUIAS

Esta publicación se ha producido dentro del marco del Programa Interinstitucional para el manejo adecuado de los productos químicos (IOMC)

El Programa Interinstitucional para el manejo adecuado de los productos químicos (IOMC) fue establecido en 1995 por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI y OCDE (organizaciones participantes), a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo con miras a reforzar la cooperación y aumentar la coordinación en el campo de la seguridad química. En enero de 1998, UNITAR se unió oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC consiste en fomentar la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, conjuntamente o por separado, con miras a la buena gestión de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.

El material que figura en la presente publicación se puede citar o reimprimir libremente, pero citando su origen y haciendo referencia al número de documento correspondiente. Deberá enviarse a Productos Químicos, PNUMA, una copia de la publicación que contenga la cita o reimpresión.

Pueden obtenerse ejemplares de este informe en:

Productos Químicos, PNUMA,  
11-13 chemin des Anémones  
CH-1219 Châtelaine (Ginebra), Suiza  
Tel.: +41 (22) 917 8170  
Fax: +41 (22) 797 3460  
e-mail:

Productos Químicos, PNUMA, forma parte de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

Productos Químicos PNUMA

Julio de 2004

# Prefacio

Los problemas asociados al manejo ambientalmente adecuado de los bifenilos policlorados (PCBs) resulta un tópico importante dentro de la estrategia de eliminación de estas sustancias y representa un interesante desafío para la gestión ambiental de Chile. La presente publicación conjunta del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Productos Químicos, y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), pretende contribuir a dicha gestión y responde a la necesidad de información y al interés tanto público como privado en relación al manejo de estas sustancias contaminantes.

Como sabemos, los PCBs son sustancias químicamente persistentes y bioacumulables, y que provocan el riesgo de causar efectos adversos a la salud humana y el medio ambiente. Dicho riesgo aumenta con el hecho de que es posible detectar la presencia de estas sustancias en lugares remotos, lejos de sus fuentes de emisión o de origen, debido a que tienen la particularidad de sufrir transporte transfronterizo.

Fue el año 1966 cuando por primera vez el Dr. Soren Jensen en el Laboratorio Ahrrenius de la Universidad de Estocolmo Suecia, puso en evidencia que los PCBs producidas masivamente por años, principalmente para su uso en transformadores eléctricos y capacitores, tenían la capacidad de bioacumularse en los tejidos grasos. A partir de esa fecha se han acumulado datos que advierten del riesgo que estas sustancias representan para la salud humana y el medio ambiente, lo que llevó que a las décadas de los 70 y 80 las mayores empresas cesaran su producción mundial.

Durante la década de los 90, la comunidad internacional logró establecer una base científica, que permitió al PNUMA, iniciar un acuerdo internacional que resultó en un instrumento legal, bajo el nombre de “Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)” que establece la eliminación gradual y definitiva de estas sustancias, dentro de un grupo de doce contaminantes ambientales.

La presente publicación, “Manual de Chile sobre el Manejo de los Bifenilos Policlorados (PCBs, Askareles): Un estudio de caso sobre la aplicación de guías” responde a la necesidad de difusión e información, así como al interés tanto del sector empresarial como de los servicios encargados de la gestión y fiscalización en el ámbito ambiental.

Finalmente PNUMA y CONAMA desean expresar su agradecimiento a todos quienes han colaborado en esta iniciativa. Cualquier información, recomendación o sugerencia sobre los tópicos y contenidos del Manual será agradecida y considerada en posibles futuras ediciones del presente documento.

**UNEP CHEMICALS y CONAMA**

# Presentación

Desde la promulgación de la ley 19.300, en marzo de 1994, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, ha ido desarrollando en forma sistemática una estrategia para consolidar las bases estructurales de un sistema de gestión ambiental capaz de integrar la sustentabilidad ambiental con el desarrollo económico y social. Lo anterior se vio reafirmado con la aprobación el año 1998, de la “Política Ambiental para el Desarrollo Sustentable”, donde se señaló que uno de los grandes temas que el país debería abordar es el compromiso con los problemas ambientales globales y sus efectos en Chile.

Alcanzándose internacionalmente el consenso científico en materia de compuestos orgánicos persistentes y la consecuente elaboración de un instrumento jurídico vinculante en esta materia, cual es el Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes, al cual Chile concurrió tempranamente a su firma conforme lo previsto en la ya citada política, encontrándose en avanzado estado su proceso de ratificación.

Por otra parte, el manejo seguro de las sustancias químicas peligrosas, es un tema relevante para el Gobierno y de alta sensibilidad, ello con el fin de prevenir la generación de pasivos ambientales que puedan producir eventuales riesgos a la salud humana y del medio ambiente.

La Agenda Ambiental del Gobierno, orientada a materializar los objetivos de la Política, considera que la prevención del deterioro ambiental requiere de la implementación de acciones específicas para la gestión ambientalmente racional y segura de las sustancias químicas peligrosas, ello atendida la fuerte vinculación que existe entre el sector productivo que emplea estas sustancias y el Medio Ambiente.

La labor realizada, en el marco del Convenio de Estocolmo y en la perspectiva de la elaboración de un Plan de Acción para la gestión ambientalmente sustentable de los Bifenilos Policlorados (PCBs) en el país, se materializa a través del presente Manual.

El objetivo central de este trabajo es proveer de información útil a los usuarios y poseedores de equipos eléctricos y materiales con PCBs, así como también a los fiscalizadores con la finalidad de aportar al buen manejo y gestión de los PCBs.

Sin lugar a dudas que este Manual que hoy presentamos representa un paso más hacia una gestión ambientalmente racional y sustentable de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en el país y se enmarca dentro de la Agenda Ambiental del Gobierno.

Finalmente, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, agradece la valiosa colaboración prestada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA y el Fondo COPs del Gobierno de Canadá, en la elaboración del presente manual.

Paulina Saball Astaburuaga  
Directora Ejecutiva  
Comisión Nacional del Medio Ambiente  
Santiago, Julio 2004

El presente **Manual de Chile sobre el Manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs, Askareles): Un Estudio de Caso sobre la Aplicación de Guías**, fue elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, y por los siguientes profesionales e instituciones:

Claudia Paratori C.	Químico, Encargada Convenio de Estocolmo Coordinación y edición general del Manual Departamento Control de la Contaminación Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA
Joost Meijer	Ingeniero Químico, Coordinador Área Residuos Departamento Control de la Contaminación Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA
Dr. Rodrigo Romero	Ph.D. Ciencias Químicas, M.Sc. Química Orgánica Asesor Experto, Departamento Control de la Contaminación Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA
Gonzalo Velásquez C.	Ingeniero Civil Bioquímico, Jefe Área Gestión de Residuos y Materiales Peligrosos Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, CONAMA RM
Fernando Molina	Abogado Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, CONAMA RM
Alejandro Armendariz Morales	Diseñador en Comunicación Visual, Departamento de Comunicaciones, Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA.
Pamela Santibáñez V.	Ingeniero Químico, Programa de Seguridad Química Departamento de Salud Ambiental, Ministerio de Salud
Gonzalo Aguilar M.	Ingeniero Sanitario, Encargado Programa de Residuos Sólidos Departamento de Salud Ambiental, Ministerio de Salud
Rodrigo González B.	Ingeniero Ejecución Ambiental, Profesional Unidad Residuos Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, SESMA
Oscar Carvajal V.	Ingeniero Civil Bioquímico, Profesional Unidad de Estudios Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, SESMA
Mario Rodríguez R.	Ingeniero Civil Electricista, Departamento Técnico de Sistemas Eléctricos Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC
Berta Jiménez	Administrador Público, Vista de Aduanas Jefe Departamento Servicios de Apoyo Dirección Regional Aduana Metropolitana, Aeropuerto Arturo Merino Benítez
María Isabel Carrera	Químico Farmacéutico Sector de Fiscalización de Ingreso de Mercancías Dirección Regional Aduana Metropolitana, Aeropuerto Arturo Merino Benítez
Dr. Ricardo Barra R.	Doctor en Ciencias Ambientales Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción
Bruno Osses N.	Ingeniero en Prevención de Riesgos y Seguridad Industrial Experto Profesional en Prevención de Riesgos

Elaborado con el apoyo del Fondo COPs de Canadá.

# Índice general

Capítulo 1 / Introducción	1
Capítulo 2 / Antecedentes generales	3
2.1. Identificación de los Bifenilos Policlorados (PCBs)	3
2.2. Características fisicoquímicas	6
2.3. Persistencia	8
2.4. Bioconcentración	10
2.5. Bioacumulación	11
2.6. Transporte transfronterizo	13
Capítulo 3 / Identificación de PCBs	17
3.1. Usos de los PCBs	17
3.1.1. Usos cerrados	19
3.1.1.1. Transformadores	19
3.1.1.2. Condensadores	20
3.1.2. Usos parcialmente cerrados	21
3.1.3. Usos abiertos	21
3.2. Clasificación de los PCBs por concentración	22
3.3. Etiquetado de PCBs y designaciones de tipo de equipos	23
3.4. Residuos que contienen PCBs	23
3.4.1. PCBs utilizados en aceites	23
3.4.2. Dragado marino de aguas y sedimentos contaminados con PCBs	24
3.4.3. Reparación y desarme de equipos	24
3.4.4. Demolición de edificios	24
3.4.5. Volatilización y lixiviación desde rellenos sanitarios	24
3.4.6. Operaciones de reciclaje	25
3.4.7. Incineradores	25
3.4.8. Producción accidental por fabricación y uso de productos químicos orgánicos	25
3.5. Identificación por etapas de equipos y materiales con PCBs	25
Capítulo 4 / Situación de los PCBs en Chile	29
4.1. Catastro de PCBs	29
4.2. Determinación preliminar de niveles ambientales de PCBs	33
4.3. PCBs en aire de la Región Metropolitana	35
4.4. Otros estudios sobre PCBs	40
Capítulo 5 / Instrumentos de gestión	41
5.1. Importación	41
5.2. Exportación	42
5.3. Exportación e importación de residuos peligrosos – Convenio de Basilea	42
5.3.1. Exportación de residuos peligrosos	42
5.3.2. Importación de residuos peligrosos	43

	Índice
5.4. Prohibición al uso – Normativa SEC	43
5.5. Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos	44
5.6. Requerimientos del Convenio de Estocolmo sobre los PCBs	45
5.6.1. Manejo ambientalmente adecuado de PCBs	46
<b>Capítulo 6 / Manejo de PCBs</b>	<b>49</b>
6.1. Almacenamiento	49
6.1.1. Instalaciones especiales para el almacenamiento de PCBs	49
6.1.2. Condiciones técnicas recomendables para una bodega de PCBs	52
6.1.3. Calificación de las condiciones de almacenamiento	53
6.2. Tratamiento	54
6.2.1. Transformadores	54
6.2.2. Capacitores	56
6.2.3. Aceites de transformadores	56
6.2.4. Aceites de desecho	56
6.2.5. Suelos contaminados	57
6.2.6. Procesos de descontaminación de equipos contaminados por PCBs	57
6.3. Tecnologías de destrucción de PCBs	58
6.3.1. Incineración	59
6.3.2. Decloración	61
6.3.3. Sistemas de arco plasmático	64
6.3.4. Otras tecnologías	64
6.3.5. Conclusiones	67
<b>Capítulo 7 / Efectos sobre la salud y el medio ambiente</b>	<b>69</b>
7.1. Efectos sobre la salud	69
7.1.1. Toxicidad aguda	70
7.1.2. Efectos crónicos	70
7.2. Efectos sobre el medio ambiente	71
7.2.1. Destino ambiental	71
7.2.2. Transporte de PCBs en aire	72
7.2.3. Transporte de PCBs en suelo	74
7.2.4. Transporte de PCBs en agua	75
<b>Capítulo 8 / Técnicas de análisis químico de PCBs</b>	<b>77</b>
8.1. Método de screening para PCBs en aceite de transformador	77
8.2. Determinación de PCBs en otras matrices	78
<b>Capítulo 9 / Emergencias con materiales con PCBs</b>	<b>79</b>
9.1. Acciones básicas para el control de derrames de PCBs	80
9.2. Etapas de una emergencia	81
9.3. Derrames menores de PCBs	81
9.3.1. Procedimiento para derrames menores	82
9.3.2. Trabajo a realizar	82
9.3.3. Disposición de los residuos	83
9.3.4. Descontaminación	84
9.3.5. Información a las Autoridades	84
9.4. Derrames mayores a 10 litros	85
9.5. Incendios	85
9.5.1. Recomendaciones generales	85

	Índice
Capítulo 10 / Referencias	87
Anexo A Identificación de equipos y materiales que contienen PCBs	89
Anexo B Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)	97
Anexo C Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional	101
Anexo D Convenio de Basilea Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación	103
Anexo E Glosario de términos	111

# Índice de tablas

## Capítulo 1 / Introducción

Tabla 1.1.	Clasificación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)	2
------------	--	---

## Capítulo 2 / Antecedentes generales

Tabla 2.1.	Valores de TEF para 14 PCBs coplanares clasificados en función de la presencia o ausencia de Cloros en posición orto [Hong et al., 1998].	5
Tabla 2.2.	WHO-TEFs para seres humanos, mamíferos, peces y aves [Van der Berg et al; 1998]	5
Tabla 2.3.	Características más importantes de los PCBs.	6
Tabla 2.4.	Propiedades de los congéneres de PCBs [Ref. Ritter et al (1995)].	7
Tabla 2.5.	Propiedades de diferentes mezclas de Aroclor [Ref. US EPA Interim Draft (2000)].	7
Tabla 2.6.	Vidas medias de congéneres y familias de isómeros de PCBs. [Ref. US EPA, 1998]	9

## Capítulo 3 / Identificación de PCBs

Tabla 3.1.	Aplicaciones cerradas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	19
Tabla 3.2.	Aplicaciones parcialmente cerradas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	21
Tabla 3.3.	Aplicaciones abiertas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	22
Tabla 3.4.	Sistemas de clasificación de PCBs por concentración [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	22
Tabla 3.5.	Etapas para la identificación de equipos y materiales con PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	26

## Capítulo 4 / Situación de los PCBs en Chile

Tabla 4.1.	Tipo y número de empresas encuestadas por CONAMA/Centro EULA-Chile y SEC 31 [Ref. CONAMA, Centro EULA-Chile, 2001]	
Tabla 4.2.	Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y en uso en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].	31
Tabla 4.3.	Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y almacenados en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].	32
Tabla 4.4.	Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de La Reina Alta) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	36
Tabla 4.5.	Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de Parque O'Higgins) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	37
Tabla 4.6.	Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de Los Cerrillos) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	38
Tabla 4.7.	Niveles de concentración atmosférica de PCBs en distintos centros urbanos [Ref. CENMA, JICA, 2001].	39

## Capítulo 6 / Manejo de PCBs

Tabla 6.1.	Puntaje de las condiciones de almacenamiento en bodega y bóveda.	54
Tabla 6.2.	Equivalencia de calificación versus puntaje total.	54
Tabla 6.3.	Características del proceso de destrucción de PCBs.	59

## Capítulo 7 / Efectos sobre la salud y el medio ambiente

Tabla 7.1.	Datos de toxicidad aguda, para diferentes especies y rutas [RTECS, 1991].	70
Tabla 7.2.	Niveles de PCBs en aire en varios países [Ref. IPCS, 1993]	74
Tabla 7.3.	Niveles de PCBs en suelos, sedimentos y lodos en varios países [Ref. IPCS, 1993]	74

## Capítulo 8 / Técnicas de análisis químico de PCBs

Tabla 8.1.	Concentraciones de PCBs en Clor-N-Oil	78
------------	---------------------------------------	----

## Anexo A Identificación de equipos y materiales que contienen PCBs

Tabla A.1.	Nombres comerciales, sinónimos, fabricantes y país de origen de los PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	89
Tabla A.2.	Compañías fabricantes de transformadores que contienen PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	91
Tabla A.3.	Compañías fabricantes y marcas comerciales de condensadores que contienen PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	92
Tabla A.4.	Usos de los PCBs según actividad industrial [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	94
Tabla A.5.	Residuos que contienen PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999), Fuentes: Dobson and van Esch 1993; Durfee 1976; Franklin Associates 1984; ICF 1989a].	95

## Anexo B Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes

Tabla B.1.	Sustancias sujetas al Convenio de Estocolmo.	97
Tabla B.2.	Integrantes del Grupo de Trabajo Multisectorial del Convenio de Estocolmo.	98

## Anexo C Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional

Tabla C.1.	Sustancias sujetas al Convenio de Rotterdam.	102
Tabla C.2.	Integrantes del Grupo de Trabajo Multisectorial del Convenio de Rotterdam.	102

# Índice de figuras

## Capítulo 2 / Antecedentes generales

Figura 2.1.	Estructura molecular de los PCBs y esquema de las posibles orientaciones de los átomos de Cloro en los anillos. [Ref. CONAMA, CONAMA RM, SESMA, SS Antofagasta (2000); CONAMA, Centro EULA-Chile (2001)].	3
Figura 2.2.	Reacción de cloración del bifenilo [Ref. CONAMA, Centro EULA-Chile (2001)].	3
Figura 2.3.	Sustitución de los congéneres de PCBs: no-orto sustituidos (coplanares) y orto sustituidos (no coplanares) [Ref. Centro EULA-Chile (2001)].	4
Figura 2.4.	Desaparición de un compuesto químico en el medio ambiente.	8
Figura 2.5.	Variación de las concentraciones ambientales para diferentes vidas medias.	10
Figura 2.6.	Bioconcentración.	11
Figura 2.7.	Bioacumulación.	12
Figura 2.8.	Biomagnificación.	12
Figura 2.9.	Biomagnificación de PCBs en tres sitios en Canadá (Iñuivik; Cambridge Bay; Bathurst), para tres especies: Liquen, Caribú y Lobo [Ref. AMAP]	13
Figura 2.10.	Esquema del depósito de un contaminante en región remota (a) y esquema simplificado (b) [Ref. D. Di Toro and F. Hellweger, 1999].	15
Figura 2.11.	Diferentes vías de transporte de contaminantes en los ambientes terrestres y acuáticos. [Ref. AMAP]	15
Figura 2.12.	Modelo instantáneo de transporte y liberación a larga distancia de contaminantes [Ref. D. Di Toro and F. Hellweger, 1999].	16
Figura 2.13.	Transporte de contaminantes en el Ártico, con la posición promedio de las masas de aire Ártico en Enero y Julio y las frecuencias de los vientos en invierno y verano que conducen las principales rutas de transporte Sur - Norte [Ref. AMAP]	16

## Capítulo 3 / Identificación de PCBs

Figura 3.1.	Movimiento de PCBs hacia el medio ambiente [Ref. UNEP, IOMC, 1999].	18
Figura 3.2.	Esquema de las etapas para la identificación de equipos y materiales con PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].	

## Capítulo 4 / Situación de los PCBs en Chile

Figura 4.1.	"Ficha de Antecedentes de Equipos Eléctricos y Recipientes con Bifenilos Policlorados (PCBs)"	30
Figura 4.2.	Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y en uso en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].	31
Figura 4.3.	Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y almacenados en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA, Centro EULA, 2001].	32
Figura 4.4.	Distribución de la concentración de PCBs totales en suelo [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].	33
Figura 4.5.	Distribución de la concentración de PCBs totales en pino [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].	34

	Indice
Figura 4.6. Distribución de la concentración de PCBs totales en choritos [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].	34
Figura 4.7. Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de La Reina) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	36
Figura 4.8. Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de Parque O'Higgins) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	37
Figura 4.9. Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de Los Cerrillos) [Ref. CENMA, JICA, 2001].	38
 Capítulo 7 / Efectos sobre la salud y el medio ambiente	
Figura 7.1. Interacciones en la cadena alimenticia [Ref. Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities]	69
Anexo D Convenio de Basilea Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación Formulario "Notificación de movimientos transfronterizos".	103
Formulario "Documento sobre el movimiento".	105

# CAPÍTULO 1 **Introducción**

El presente **Manual de Chile sobre el Manejo de Bifenilos Policlorados** (PCBs, de acuerdo a la sigla del inglés “Polychlorinated Biphenyls”), se inserta dentro de las labores de la Unidad de Sustancias Químicas del Subdepartamento de Materiales Peligrosos de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, orientadas a la difusión de información y orientación de los fiscalizadores, así como también proporcione información a los usuarios y fomente su participación en el manejo de sustancias químicas tóxicas o peligrosas, en este caso, los **Bifenilos Policlorados**.

La información contenida en este Manual entrega un resumen de las características, usos y nombres comerciales de los PCBs, así como también de la situación actual de estos compuestos en Chile, estimaciones de cantidades en uso y almacenadas, los instrumentos de gestión aplicables en nuestro país respecto, las directrices para su manejo, almacenamiento, transporte y el tratamiento de los residuos, incluyendo su gestión y el procedimiento que se debe seguir para su eliminación y/o exportación para su eliminación final.

Se presentan también los riesgos para la salud y para el medio ambiente, y el procedimiento a seguir en caso de existir emergencias, tales como incendios, accidentes (e.g. derrames, volcamientos, pérdidas por fugas, etc.), ingesta o inhalación accidental. Especial énfasis se hace en el capítulo referente a los procedimientos de análisis químico, para la identificación de PCBs en muestras de aceites, suelos, vegetales, aire, agua, considerando tanto los procedimientos de muestreo y el análisis en laboratorio, como procedimientos de screening in situ, aptos para ser aplicados en los lugares de trabajo a fin de determinar la posible presencia de PCBs en distintas matrices, para luego confirmar su presencia por técnicas analíticas más avanzadas.

Se incluyen además, anexos con información útil para la identificación de equipos y materiales con PCBs, resúmenes de los temas principales de los Convenios de Estocolmo, Rotterdam y Basilea, y finalmente un glosario de términos.

La razón para la elaboración del presente Manual, se enmarca dentro de las actividades de CONAMA en el ámbito del **Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)**, firmado el 22 de mayo de 1979 en Estocolmo, Suecia, por 91 países entre los que se cuenta Chile y actualmente en vigencia desde el 17 de Mayo de 2004. Dicho Convenio internacional jurídicamente vinculante, establece que los países deben adoptar medidas para reducir y/o eliminar las emisiones y liberaciones de estos compuestos al medio ambiente, así como también prohibir su producción e importación, y permitir su exportación únicamente para su eliminación ambientalmente racional.

Para fines del Convenio, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, elaboró un listado inicial de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), cuya clasificación se presenta en la Tabla I.1.

**Tabla I.1.** Clasificación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs).

Plaguicidas	Productos industriales	Subproductos no intencionales
Aldrin	Hexaclorobenceno <sup>[a]</sup> (HCB)	Dibenzo-p-dioxinas Policloradas (Dioxinas)
Clordano	Bifenilos Policlorados (PCBs) <sup>[b]</sup>	Dibenzofuranos Policlorados (Furanos)
DDT		Bifenilos Policlorados (PCBs) <sup>[b]</sup>
Dieldrin		Hexaclorobenceno (HCB) <sup>[a]</sup>
Endrin		
Heptacloro		
Hexaclorobenceno (HCB) <sup>[a]</sup>		
Mirex		
Toxafeno		

[a]: Hexaclorobenceno puede ser un plaguicida, producto químico industrial y subproducto no intencional.

[b]: Bifenilos Policlorados (PCBs) pueden ser productos químicos industriales y subproductos no intencionales, junto con Dioxinas, Furanos y HCB.

Respecto de los **COPs plaguicidas**, el Servicio Agrícola y Ganadero ha prohibido la importación, fabricación, venta, distribución y uso en Chile, de estos nueve compuestos.

Sobre los COPs clasificados como subproductos no intencionales, se cuenta con escasa información en el país respecto de sus fuentes y emisiones al medio ambiente.

De los COPs clasificados como **productos químicos industriales**, el Hexaclorobenceno no ha sido utilizado en el país, y los **Bifenilos Policlorados** son los que han concentrado nuestra atención, dado su amplio uso en equipos eléctricos, tales como transformadores y condensadores, además de sus características físicas y químicas que le otorgan propiedades muy apreciadas en la industria.

A fin de determinar las fuentes y la cantidad de equipos eléctricos y materiales contaminados con PCBs, CONAMA elaboró un **catastro preliminar de fuentes en dos regiones del país, Segunda y Metropolitana**<sup>[1]</sup> el cual sirvió de base para la elaboración un **catastro nacional de fuentes y la determinación preliminar de la concentración de PCBs en diferentes matrices ambientales**<sup>[2]</sup> (suelo, hojas de pino, moluscos bivalvos) y en algunas muestras de aceite dieléctrico, tomadas en las cercanías de las fuentes catastradas. Los resultados de estos estudios se presentan en el Capítulo 4. Adicionalmente, CONAMA junto con el Centro EULA-Chile, se encuentran elaborando un Inventario Nacional de PCBs, cuya finalización será en Julio de 2004.

Adicionalmente, el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), elaboraron un estudio para caracterizar **PCBs en atmósfera urbana** de la Región Metropolitana<sup>[3]</sup> a fin de estimar niveles preliminares de concentración de PCBs, que permitan a los tomadores de decisión tener una estimación de la presencia y posibles implicaciones de PCBs atmosféricos en la Región Metropolitana.

Los resultados de estos estudios forman parte de los antecedentes necesarios que CONAMA se encuentra recopilando para la elaboración del **Plan Nacional de Acción para PCBs** inserto en el **Plan Nacional de Implementación** del Convenio de Estocolmo (NIP, National Implementation Plan), para su aplicación en conjunto con un **Comité Multisectorial de Coordinación**, que establecerá las medidas y plazos que se adoptarán para dar cumplimiento a las obligaciones del Convenio, y que será vigilado por la Conferencia de las Partes.

[1] CONAMA, CONAMA RM, SESMA, SS Antofagasta (2000)

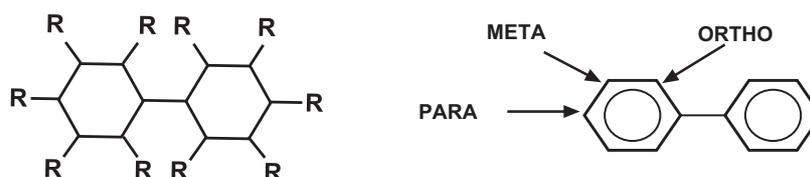
[2] CONAMA - Centro EULA/Chile (2001)

[3] CENMA, JICA (2001)

# CAPÍTULO 2 Antecedentes generales

## 2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs)

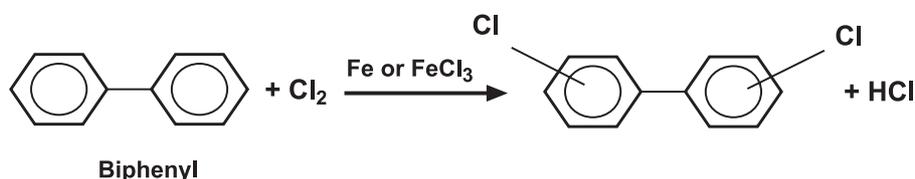
Del punto de vista químico, los **Bifenilos Policlorados (PCBs)** son hidrocarburos aromáticos clorados de fórmula  $C_{12}H_{10-R}Cl_R$ , categoría con número CAS 1336-36-3 y número de Naciones Unidas UN 2315, comprenden una clase de 209 compuestos individuales, isómeros y congéneres, cuya estructura química general se muestra a continuación junto con la nomenclatura para la ubicación de los Cloros en la estructura Bifenilo:



**Figura 2.1.** Estructura molecular de los PCBs y esquema de las posibles orientaciones de los átomos de Cloro en los anillos [Ref. CONAMA, CONAMA RM, SESMA, SS Antofagasta (2000); CONAMA, Centro EULA-Chile (2001)].

"R" corresponde a átomos de Cloro (Cl) unidos al Bifenilo, pudiendo contener desde uno (01) hasta diez (10) átomos de Cloro (formando desde el Bifenilo Monoclorado,  $C_{12}H_9Cl$ , hasta el Bifenilo Decaclorado,  $C_{12}Cl_{10}$ ) para dar forma a los congéneres, variando así sus propiedades, como lipofilidad (afinidad por los lípidos), fusión, inflamabilidad, conductividad eléctrica, presión de vapor, solubilidad en agua; su apariencia variando de líquido incoloro aceitoso a líquido viscoso oscuro y de resinas amarillas a negras. El vapor es invisible y produce un fuerte olor característico.

Los PCBs son productos químicos orgánicos que no se presentan naturalmente en el medio ambiente. Fueron sintetizados por primera vez en la mitad del siglo 19 a escala de laboratorio y comercialmente fueron fabricados desde 1950 aproximadamente, por cloración progresiva del Bifenilo en presencia de un catalizador adecuado (e.g. Cloruro de Hierro III,  $FeCl_3$ ), tal como se presenta en la figura adjunta.



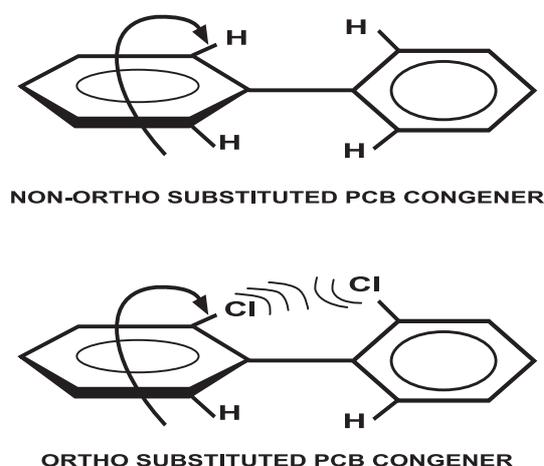
**Figura 2.2.** Reacción de cloración del bifenilo [Ref. CONAMA, Centro EULA-Chile (2001)].

Dependiendo de las condiciones de reacción, la sustitución de átomos de Cloro puede dar lugar a un grado de cloración entre 21% y 68% en peso (reemplazo de 1 a 10 de átomos de Hidrógeno por Cloro). Los congéneres pueden ser

agrupados en base a su número de átomos de Cloro unidos a la molécula Bifenilo, siendo el término "Bifenilo policlorado" genérico para todos los congéneres.

Los **congéneres que no poseen átomos de Cloro en las posiciones orto (ver Figura 1) adquieren la configuración planar (o coplanar)**, siendo los restantes PCBs no sustituidos en posición orto (no-orto sustituidos), los no planares o no coplanares.

En particular, los PCBs planares (coplanares) poseen una estructura similar a la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (2,3,7,8-TCDD) y representan una clase particularmente peligrosa de sustancias, para las cuales se han determinado Factores de Equivalencia Tóxica (TEFs, Toxic Equivalence Factors), análogos a los correspondientes a las Dioxinas y Furanos. Estos factores son utilizados para evaluar los riesgos de los PCBs, sobre la base de la relación de toxicidad entre la 2,3,7,8-TCDD (por definición,  $TEF_{2,3,7,8-TCDD}=1$ ) con la toxicidad de los distintos congéneres de PCBs.



**Figura 2.3.** Sustitución de los congéneres de PCBs: no-orto sustituidos (coplanares) y orto sustituidos (no coplanares) [Ref. Centro EULA-Chile (2001)].

A modo de ejemplo se presenta la relación de toxicidad para un determinado congénere, considerando el valor de la concentración efectiva 50 con un organismo de prueba ( $EC_{50}$ ), con respecto a la toxicidad de la 2,3,7,8-TCDD<sup>[4]</sup>:

$$TEF = EC_{50} (2,3,7,8-TCDD) / EC_{50} (\text{Congénere PCB de interés})$$

En la siguiente Tabla 2.1, se presentan los valores de TEF para una serie de PCBs coplanares. El uso de TEF es un método aproximado de comparación entre sustancias de toxicidad diferente. Sin embargo, representa un método ampliamente utilizado para efectuar evaluaciones de riesgo para mezclas complejas de sustancias que presentan diferencias de toxicidad de varios órdenes de magnitud<sup>[5]</sup>

[4] CONAMA, Centro EULA-Chile; 2001

[5] CONAMA, Centro EULA-Chile; 2001

**Tabla 2.1.** Valores de TEF para 14 PCBs coplanares clasificados en función de la presencia o ausencia de Cloros en posición orto (Hong et al., 1998)<sup>[6]</sup>

Estructura	No IUPAC	TEF
<b>No orto</b>		
3,3',4,4'	77	0.0005
3,4,4',5	81	0.004
3,3',4,4',5	126	0.1
3,3',4,4',5,5'	169	0.01
<b>Mono orto</b>		
2,3,3',4,4'	105	0.0001
2,3,4,4',5	114	0.0005
2,3',4,4',5	118	0.0001
2,3,4,4',5	123	0.0001
2,3,3',4,4',5	156	0.0005
2,3,3',4,4',5'	157	0.0005
2,3',4,4',5,5'	167	0.00001
2,3,3',4,4',5,5'	189	0.0001
<b>Di orto</b>		
2,2',3,3',4,4',5	170	0.0001
2,2',3,4,4',5,5'	180	0.00001

En la literatura se pueden encontrar diferentes medidas para los TEF. En la Tabla 2.2. se presentan los valores de TEF sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para distintos tipos de organismos (Van der Berg et al, 1998).

**Tabla 2.2.** WHO-TEFs para seres humanos, mamíferos, peces y aves (Van der Berg et al; 1998)

CONGÉNERE	FACTORES DE EQUIVALENCIA TÓXICA (TEF)				
	HUMANOS/MAMÍFEROS			PECES	AVES
	1990	1994	1998		
Non-ortho					
3,4,4',5-TCB (PCB-81)	0,0001 <sup>a,b,c,e</sup>			0,0005	0,1 <sup>e</sup>
3,3',4,4'-TCB (PCB-77)	0,01	0,005	0,0001	0,0001	0,05
3,3',4,4',5-PeCB (PCB-126)	0,1	0,1	0,1	0,005	0,1
3,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB-169)	0,05	0,01	0,01	0,00005	0,001
	1990	1994	1998		
2,3,3',4,4'-PeCB (PCB-105)	0,001		0,0001	<0,000005	0,0001
2,3,4,4',5-PeCB (PCB-114)			0,0005 <sup>a,b,c,d</sup>	<0,000005 <sup>b</sup>	0,0001 <sup>g</sup>
2,3',4,4',5-PeCB (PCB-118)	0,001		0,0001	<0,000005	0,00001
2',3,4,4',5-PeCB (PCB-123)			0,0001 <sup>a,c,d</sup>	<0,000005 <sup>b</sup>	0,00001 <sup>g</sup>
2,3,3',4,4',5-HxCB (PCB-156)			0,0005 <sup>b,c</sup>	<0,000005	0,0001
2,3,3',4,4',5'-HxCB (PCB-157)			0,0005 <sup>b,c,d</sup>	<0,000005 <sup>b,c</sup>	0,0001
2,3',4,4',5,5'-HxCB (PCB-167)			0,00001 <sup>a,d</sup>	<0,000005 <sup>b</sup>	0,00001 <sup>g</sup>
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (PCB-189)			0,0001 <sup>a,c</sup>	<0,000005	0,00001 <sup>g</sup>
2,2',3,3',4,4',5-HpCB (PCB-170)	0,00002	0,001			
2,2',3,4,4',5,5'-HpCB (PCB-180)	0,00002	0,00001			

"-": Indica ningún TEF debido a la falta de datos.

a : Grupo de datos limitado.

b : Similitud estructural.

c : Predicción de modelo QSAR a partir de la inducción de CYPIA (mono, cerdo, pollo o pescado).

d : Ningún dato nuevo desde la revisión de 1993.

e : Inducción in vitro de la CYPIA.

f : Inducción in vivo tras las exposición in ovo.

g : Predicción de modelo QSAR a partir de TEFs específicos de clase.

[6]: CONAMA, Centro EULA- Chile; 2001

De los 209 congéneres de PCBs que teóricamente existen, sólo 130 de ellos tienen probabilidad de ser utilizados como productos o mezclas comerciales, siendo sus nombres comerciales, sinónimos y empresas fabricantes, los especificados en la Tabla A.I. del Anexo A, siendo los más conocidos: Aroclor (Monsanto, USA), Clophen (Bayer, Alemania), Kanechlor (Kanegafuchi, Japón), Phenaclor y Pyralene (Prodolec, Francia), Santotherm (Mitsubishi, Japón).

## 2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Las características más importantes de los PCBs se presentan en las siguientes Tablas 2.3., 2.4., y 2.5., con las características generales, las propiedades de los diferentes grupos de congéneres y de las diferentes mezclas comerciales de Aroclor.

**Tabla 2.3.** Características más importantes de los PCBs.

Parámetro	Característica
Estado físico	Líquido (temperatura ambiente)
Densidad	1,182 – 1,566 g/ml
Solubilidad en agua	Baja, entre $1,08 \times 10^{-5}$ y $9,69 \times 10^{-10}$ mol/litro (generalmente disminuye con la masa molecular relativa <sup>[9]</sup> <sup>[10]</sup> )
Solubilidad en aceites y solventes orgánicos	Alta
Solubilidad en lípidos	Rápidamente absorbidos por tejidos grasos
Coefficiente de partición log KOW	4,46 – 8,18 <sup>[9]</sup> <sup>[10]</sup>
Punto de inflamación	Alto (170-380 °C) (no explosivos)
Presión de vapor	Baja (semivolátiles); forman vapores mas pesados que el aire, pero no forman mezclas explosivas con el aire. Generalmente disminuye con la masa molecular relativa y aumenta el grado de sustitución de los cloros en posición orto <sup>[11]</sup> <sup>[12]</sup>
Constantes de la Ley de Henry	$0,3 \times 10^{-4}$ - $8,97 \times 10^{-4}$ atm m <sup>3</sup> /mol (a 25 °C, técnica de purga de gas)determinada para 20 congéneres.
Constante dieléctrica	Alta (baja conductividad eléctrica)
Estabilidad térmica	- Alta resistencia al fuego (piroresistentes) con temperatura de inflamabilidad elevada (esto es la base de su uso como líquido de enfriamiento en equipos eléctricos). Cuando se calientan pueden producir Dibenzofuranos policlorados, con máxima producción entre los 550 °C y 700 °C. - No cristalizan a bajas temperaturas, pero se transforman en resinas sólidas.

[7] Durnivant and Elzerman (1998).

[8] Estimación en base a 26 congéneres de PCBs seleccionados. Solubilidades acuosas determinadas como sólidos a 25°C, mediante técnica de generación en columna).

[9] IPCS/WHO, EHC 140 (1993).

[10] El Convenio de Estocolmo, establece que una sustancia se considera bioacumulable si el log K<sub>OW</sub> es superior a 5.

[11] Calculado a partir del producto de datos de solubilidad (mol/m<sup>3</sup>) y la constante de la Ley de Henry (atm m<sup>3</sup>/mol).

[12] Durnivant and Elzerman (1988). D.W. Hawker, D.W. (1989).

**Tabla 2.3.** (Continuación) Características más importantes de los PCBs.

Parámetro	Característica
Estabilidad química	Alto grado de estabilidad química bajo condiciones normales. Resistentes a la oxidación, a ácidos, bases y otros agentes químicos. De acuerdo a pruebas de laboratorio, permanecen inalterados químicamente, aun en presencia de oxígeno o algunos metales activos a altas temperaturas (sobre 170 °C) y por periodos prolongados de tiempo.
Impurezas conocidas en mezclas comerciales de PCBs	Dibenzofuranos clorados (en concentraciones de pocos mg/kg y 40 mg/kg), naftalenos clorados y cuaterfenilos clorados.
Color	- PCBs comerciales (mezclas de congéneres) son de color amarillo claro u oscuro - Congéneres individuales son incoloros, a menudo cristalinos

**Tabla 2.4.** Propiedades de los congéneres de PCBs [Ref. Ritter et al (1995)].

Grupo congénere (número de átomos de Cloro)	Peso molecular [g/molécula]	Presión de vapor [Pa]	Solubilidad en agua [g/m <sup>3</sup> ]	log K <sub>ow</sub>
Monoclorobifenilo (1-Cl)	188,7	0,9 - 2,5	1,21 - 5,5	4,3 - 4,6
Diclorobifenilo (2-Cl)	223,1	0,008 - 0,60	0,06 - 2,0	4,9 - 5,3
Triclorobifenilo (3-Cl)	257,5	0,003 - 0,22	0,015 - 0,4	5,5 - 5,9
Tetraclorobifenilo (4-Cl)	292,0	0,002	0,0043 - 0,010	5,6 - 6,5
Pentaclorobifenilo (5-Cl)	326,4	0,0023 - 0,051	0,004 - 0,02	6,2 - 6,5
Hexaclorobifenilo (6-Cl)	360,9	0,0007 - 0,012	0,0004 - 0,0007	6,7 - 7,3
Heptaclorobifenilo (7-Cl)	395,3	0,00025	0,000045 - 0,000	6,7 - 7
Octaclorobifenilo (8-Cl)	429,8	0,0006	0,0002 - 0,0003	7,1
Nonaclorobifenilo (9-Cl)	464,2	-	0,00018 - 0,0012	7,2 - 8,16
Decaclorobifenilo (10-Cl)	498,7	0,00003	0,000001 - 0,000	8,26

**Tabla 2.5.** Propiedades de diferentes mezclas de Aroclor [Ref. US EPA Interim Draft (2000)].

Aroclor	Apariencia <sup>[a]</sup>	Peso molecular [g/mol]	Densidad [g/cm <sup>3</sup> , 25 °C] <sup>[a]</sup>	Solubilidad [mg/L, 24 °C]	Presión de vapor [mm Hg, 25 °C]	Constante Ley de Henry [atm·m <sup>3</sup> /mol, 25 °C]	K <sub>oc</sub>	K <sub>ow</sub>
1016	Aceite claro, móvil	257,9	1,33	0,42 <sup>[b]</sup>	4,00 × 10 <sup>-4</sup>	2,9 × 10 <sup>-4</sup>	180.000	5,6
1221	Aceite claro, móvil	200,7	1,15	0,59	6,70 × 10 <sup>-3</sup>	3,5 × 10 <sup>-3</sup>	5.800	4,7
1232	Aceite claro, móvil	232,2	1,24	0,45 <sup>[b]</sup>	4,06 × 10 <sup>-3</sup>	-	771	5,1
1242	Aceite claro, móvil	266,5	1,35	0,34 <sup>[b]</sup>	4,06 × 10 <sup>-4</sup>	5,2 × 10 <sup>-4</sup>	6.300	5,6
1248	Aceite claro, móvil	299,5	1,41	0,06	4,94 × 10 <sup>-4</sup>	2,8 × 10 <sup>-3</sup>	277.000	6,2
1254	Aceite viscoso, amarillo claro	328	1,50	0,057	7,71 × 10 <sup>-5</sup>	2,0 × 10 <sup>-3</sup>	530.000	6,5
1260	Resina pegajosa amarilla clara	375,7	1,58	0,08	4,05 × 10 <sup>-5</sup>	4,6 × 10 <sup>-3</sup>	6.700.000	6,8
1262	-	389	-	0,052	-	-	-	-
1268	-	453	-	0,30	-	-	-	-

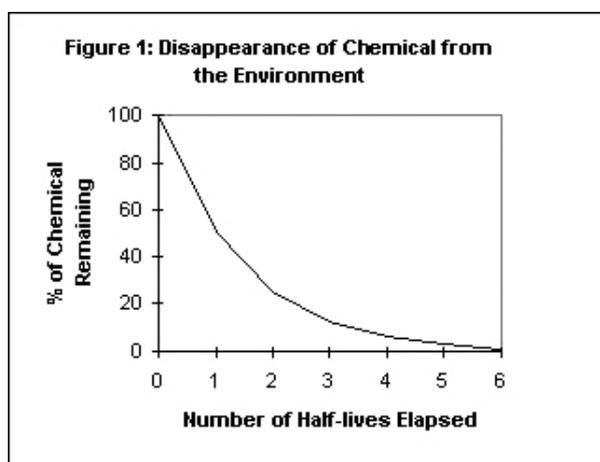
En general, los PCBs con valores altos de solubilidad en agua son dispersados rápidamente a través de los componentes no lipídicos del medio ambiente, tendiendo a ser móviles en suelo, sedimento y agua subterránea. A mayor presión de vapor se tiene una mayor probabilidad que el PCB exista en estado gaseoso. Un valor mayor de la constante de Ley de Henry, indica la mayor capacidad de volatilización del PCB desde la superficie del agua. El coeficiente de distribución de carbono orgánico,  $K_{OC}$ , mide la tendencia de los PCBs por ser absorbidos en el carbono orgánico del suelo o del sedimento; y el coeficiente de partición octanol-agua,  $K_{OW}$ , proporciona una medida del alcance de una partición química entre agua y octanol en el equilibrio y usualmente se utiliza como un indicador de la afinidad de una sustancia química por el material liposoluble.

### 2.3 PERSISTENCIA [13]

Los PCBs poseen la capacidad de mantenerse inalterados en el medio ambiente por largos períodos de tiempo, lo que se denomina “persistencia”, de ahí que una vez liberados al medio ambiente pueden propagarse ampliamente como resultado de procesos naturales en los que intervienen el suelo, el agua y el aire.

La Persistencia se describe generalmente en términos de la Vida Media en un determinado compartimento ambiental (i.e. en aire, agua, suelo o sedimento). Así, el Convenio de Estocolmo considera que un compuesto puede ser clasificado como Contaminante Orgánico Persistente, si su vida media en agua es superior a 2 meses, o en suelo es superior a 6 meses, o en sedimentos es superior a 6 meses.

La “vida media” es el tiempo que transcurre para que la mitad de la cantidad de sustancia (PCB) sea removida desde el medio ambiente. La mitad de la sustancia desaparece después de una primera vida media; la mitad de lo que queda desaparece después de una posterior vida media, dejando solamente un cuarto de la cantidad original, y así sucesivamente, de modo que después de 5 vidas medias, la cantidad de una sustancia química que permanece es muy pequeña alrededor de un 3% de la concentración original. En la Figura 2.4. se ilustra este proceso.



**Figura 2.4.** Desaparición de un compuesto químico en el medio ambiente.

[13] R. J. Larson; C.E. Cowan. 1996.

Así por ejemplo, para el caso de los PCBs, de acuerdo con los criterios del Convenio de Estocolmo (vida media superior a 6 meses), para que quede un remanente de aproximadamente 3% de la cantidad original de PCBs contenidos en un suelo o sedimento, deben transcurrir 5 vidas medias, equivalentes a 30 meses (2,5 años).

A continuación la Tabla 2.6. presenta datos de las vidas medias de diferentes congéneres y familias de isómeros de PCBs, en aire, agua superficial y suelo.

Tabla 2.6. Vidas medias de congéneres y familias de isómeros de PCBs. [Ref. US EPA, 1998]

Congéneres y familias de PCBs (Número CAS)	Vida media en aire		Vida media en agua superficial		Vida media en suelo	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
Diclorobifenilos	15 días	1 día	[a]	[a]	330 días	210 días
Triclorobifenilos	24,5 días	2 días	[b]	[b]	510 días	150 días
Octaclorobifenilos	477 días	22 días	[c]	[c]	> 5 años	
2,3',4,4',5,5'-pentaclorobifenilo (CAS 31508-00-6)	80 días	8 días	> 56 días		7,25 años	0,91 años
3,3',4,4'-tetraclorobifenilo (CAS 32598-13-3)	37 días	4 días	> 98 días		4,83 años	0,91 años
2,3,3',4,4'-pentaclorobifenilo (CAS 32598-14-4)	80 días	8 días	> 56 días		7,25 años	0,91 años
3,3',4,4',5,5'-hexaclorobifenilo (CAS 32774-16-6)	88 días	9 días	> 56 días		> 5 años	3,42 años
2,3,3',4,4',5-hexaclorobifenilo (CAS 38380-08-4)	127 días	13 días	> 56 días		> 5 años	3,42 años
2,3,3',4,4',5,5'-heptaclorobifenilo (CAS 39635-31-9)	191 días	19 días	> 56 días		> 5 años	3,92 años
2,3,4,4',5,5'-hexaclorobifenilo (CAS 52663-72-6)	114 días	11 días	> 56 días		> 5 años	3,42 años
3,3',4,4',5-pentaclorobifenilo (CAS 57465-28-8)	57 días	6 días	> 56 días		7,25 años	0,91 años
2',3,4,4',5-pentaclorobifenilo (CAS 65510-44-3)	50 días	5 días	> 56 días		7,25 años	0,91 años
2,3,3',4,4',5-hexaclorobifenilo (CAS 69782-90-7)	114 días	11 días	> 56 días		> 5 años	3,42 años
2,3,4,4',5-pentaclorobifenilo (CAS 74472-37-0)	67 días	7 días	> 56 días		7,25 años	0,91 años
Convenio de Estocolmo	2 días		> 2 meses (> 61 días)		> 6 meses <sup>[d]</sup> (> 182 días; > 0,5 años)	

[a] Los diclorobifenilos no son biodegradados rápidamente (Gan and Berthouex, 1994).

[b] Los triclorobifenilos no son biodegradados rápidamente (Gan and Berthouex, 1994).

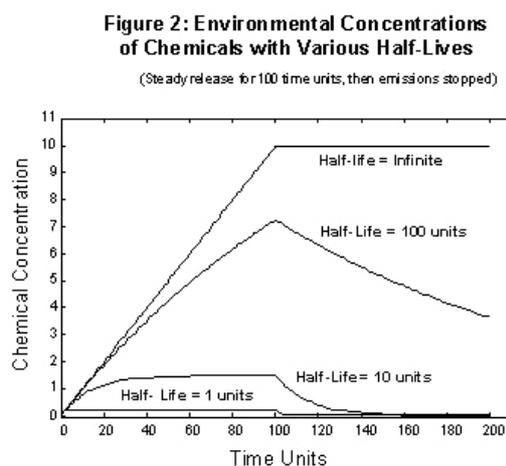
[c] Los octaclorobifenilos son resistentes a la biodegradación (Gan and Berthouex, 1994).

[d] El Convenio además establece una vida media en sedimentos > 6 meses.

Cabe destacar que la velocidad de desaparición de los PCBs o de cualquier sustancia desde el ambiente, dependerá de los procesos disponibles para removerla. Estos procesos, que van a tener diferente importancia según los compartimentos ambientales y las partes del globo terrestre involucrados, determinan así la vida media efectiva y la persistencia de la sustancia. Los procesos comunes de remoción son:

- Degradación biológica, e.g. degradación bacteriana en suelo y sedimento.
- Degradación química (abiótica), e.g. hidrólisis en suelo, sedimento o agua.
- Transferencia hacia otro compartimento ambiental, e.g. volatilización (evaporación) desde el agua hacia el aire.

Una de las consecuencias adversas de la persistencia es el aumento de la concentración ambiental. La Figura 2.5. muestra cómo varían las concentraciones ambientales respecto de las diferentes vidas medias de las sustancias químicas. Así, las sustancias con vidas medias cortas (1 a 100 unidades de tiempo) prontamente alcanzan un balance entre emisión y remoción a una concentración ambiental característica ("estado estacionario"). Una vez que las emisiones se detienen, la concentración ambiental vuelve hacia niveles basales. Por otro lado, para sustancias con largas vidas medias, la concentración ambiental se mantiene creciente. Aún cuando las emisiones se detengan, las concentraciones decaen muy lentamente.



**Figura 2.5.** Variación de las concentraciones ambientales para diferentes vidas medias.

En la práctica, las emisiones y descargas de una sustancia serán diferentes para cada compartimento ambiental. Algunas sustancias pueden ser emitidas principalmente al aire, mientras que otras pueden ser descargadas mayoritariamente a los cuerpos de agua. Similarmente, en cada uno de estos compartimentos ambientales, los procesos de remoción y las diferentes velocidades de remoción, pueden variar dependiendo de las características de la sustancia.

#### 2.4. BIOCONCENTRACIÓN [14]

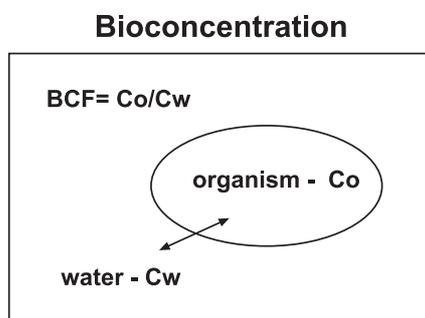
Es el proceso por el cual los organismos vivos, especialmente aquellos que viven en el agua, pueden coleccionar y concentrar sustancias químicas desde el medio ambiente que los rodea. Incluye el efecto en la concentración interna de un organismo como resultado de su captación de una sustancia química (ingestión), su movimiento interno (distribución), su cambio (metabolismo) y su retorno hacia el medio ambiente (eliminación).

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), que incluye a los PCBs, establece que un compuesto para estar incluido en el Convenio, debe tener un Factor de Bioconcentración (FBC) superior a 5000, o bien que su  $\log K_{OW}$  sea superior a 5 (i.e.  $K_{OW}$  superior a 10000).

La Figura 2.6. ilustra simplificada la bioconcentración para un organismo acuático (e.g. pez) en el agua. El agua que rodea el organismo intercambia la sustancia química (PCBs) con el organismo. Si el organismo no contiene ninguna sustancia química (PCBs), entonces la transferencia neta de la sustancia (PCBs) será primero hacia el organismo; si el agua no contiene ninguna sustancia química (PCBs), entonces la transferencia neta será primero desde el organismo hacia el agua. Eventualmente, las velocidades de transferencia hacia o desde un

[14]: ECETOC (1996). Gobas, F.A.P.C. and D. Mackay (1987). Suedel, B.C., J.A. Boraczek, R.K. Peddicord, P.A. Clifford and T.M Dillon (1984). Thoman, R.V. (1989).

organismo se igualarán y las concentraciones en el agua y en el organismo alcanzarán un nivel estacionario (estado estacionario). La razón de la concentración de la sustancia química (PCBs) en el estado estacionario en un organismo,  $C_o$ , a la del agua,  $C_w$ , es el **Factor de Bioconcentración** o FBC (BCF, por su sigla en inglés).



**Figura 2.6.** Bioconcentración.

Las concentraciones en estado estacionario en el agua y en el organismo, y así el FBC dependen de:

- La composición del agua, e.g. dureza, contenido de carbón orgánico disuelto y particulado, pH.
- El organismo, e.g. capacidad de metabolizar la sustancia y su contenido de grasa (lípidos).
- La sustancia, e.g. propiedades químicas (solubilidad en agua y grasa, etc.) y susceptibilidad para el metabolismo o degradación.

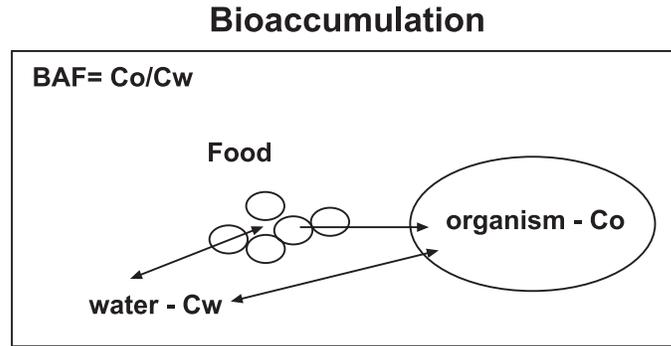
El FBC puede variar ampliamente. Sin embargo, para un organismo dado (e.g. pez) usando procedimientos de ensayo estandarizados y agua de ensayo, el FBC obtenido reflejará las propiedades de la sustancia y así ser característico para esa sustancia.

## 2.5. BIOACUMULACIÓN <sup>[15]</sup>

La Bioacumulación es el proceso mediante el cual los organismos vivos, especialmente aquellos que viven en el agua, pueden tomar y concentrar sustancias químicas (e.g. PCBs) desde el medio ambiente circundante (i.e. bioconcentración) e indirectamente desde sus alimentos.

La Figura 2.7. presenta un esquema del proceso de bioacumulación. Incluye bioconcentración y cualquier acumulación agregada en el organismo por la ingesta de alimentos que contienen la sustancia. En la práctica, pueden estar involucradas varias uniones de la cadena alimenticia y varias fuentes de alimentación diferentes, aunque por simplicidad, aquí se muestra solamente una. El Factor de Bioacumulación (FBA, o BCF por su sigla en inglés) se calcula como la razón entre la concentración de la sustancia química dentro del organismo y la concentración en el medio ambiente que lo rodea.

[15] : ECETOC (1996). Gobas, F.A.P.C. and D. Mackay (1987). Suedel, B.C., J.A. Boraczek, R.K. Peddicord, P.A. Clifford and T.M Dillon (1984). Thoman, R.V. (1989).



**Figura 2.7.** Bioacumulación.

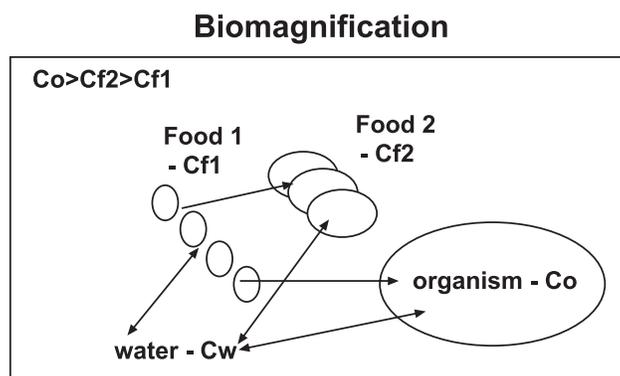
El proceso de bioacumulación está afectado por las mismas características enumeradas para la bioconcentración. Además se deben considerar la velocidad de alimentación, el número y proporciones de las diferentes comidas ingeridas y el alcance de la transferencia de la sustancia química desde los alimentos hacia el organismo (asimilación). Estudios de campo y en laboratorio y modelos han demostrado que el FBC y el FBA son aproximadamente iguales (menos de un 5% de diferencia) para sustancias con valores de  $\log K_{OW}$  menor que 5.

Al igual que en la bioconcentración, el Convenio de Estocolmo establece que un compuesto para estar incluido en el Convenio, debe tener un Factor de Bioacumulación (FBA) superior a 5000, o bien que su  $\log K_{OW}$  sea superior a 5 (i.e.  $K_{OW}$  superior a 10000).

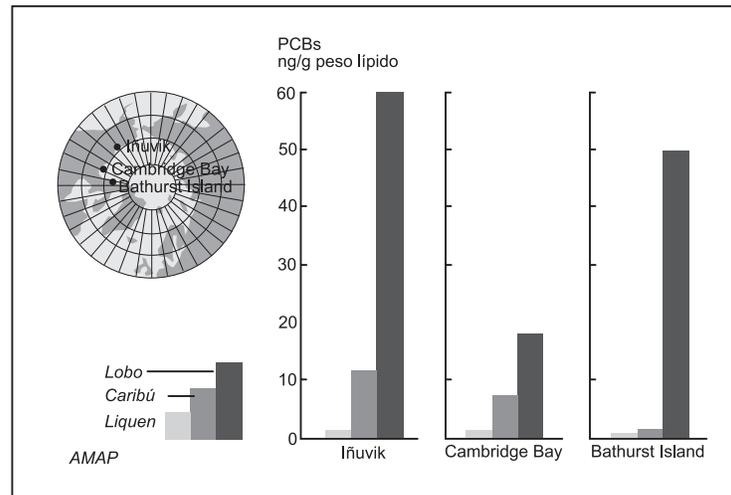
Un caso especial de bioacumulación es la **Biomagnificación**, en la cual la concentración de la sustancia en el organismo de interés es mayor que la concentración en los otros organismos de los que se alimenta (organismos alimento) y que su aumento continúa a través de varios niveles tróficos. Por esto es posible esperar encontrar concentraciones mayores en animales predadores (e.g. aves de presa, focas y ballenas) que en organismos menores en la cadena alimentaria (e.g. peces).

Numerosos estudios de campo y de laboratorio han indicado que la biomagnificación es significativa solamente en algunas sustancias pobremente metabolizadas, no polares, con valores de  $\log K_{OW}$  sobre 5. La biomagnificación es rara y así ha sido solamente demostrada para 5 o 6 sustancias, incluyendo DDT y los Bifenilos policlorados (PCBs). De hecho, para muchas sustancias químicas orgánicas, los organismos en los niveles tróficos mayores exhiben una mayor capacidad para metabolizar estas sustancias que los organismos de los niveles menores. Como resultado, la concentración interna disminuye con el avance en los niveles tróficos.

La Figura 2.8. presenta el proceso de biomagnificación y la Figura 2.9. presenta la biomagnificación de PCBs en tres sitios de Canadá y para tres niveles tróficos: líquen, caribú y lobo.



**Figura 2.8.** Biomagnificación.



**Figura 2.9.** Biomagnificación de PCBs en tres sitios en Canadá (Iñuvik; Cambridge Bay; Bathurst), para tres especies: Liqueen, Caribú y Lobo [Ref. AMAP]

## 2.6. TRANSPORTE TRANSFRONTERIZO [16]

Los PCBs son semivolátiles, lo que les permite vaporizarse (fase gaseosa) o ser adsorbidos sobre partículas atmosféricas, suspendidos en aerosoles, dando lugar al transporte transfronterizo a larga distancia por aire y agua desde regiones cálidas a frías del planeta.

La característica de transporte transfronterizo a larga distancia de los COPs, y por ende de los PCBs, es uno de los mecanismos a través del cual es posible distribuir los efectos de persistencia, bioacumulación y bioconcentración a través del planeta por medio acuoso y atmosférico, dando como resultado la detección de niveles de contaminación por acción de estos contaminantes, en lugares alejados de las fuentes de emisión, tales como los polos.

El proceso de transporte transfronterizo está afectado por factores tales como:

- Cantidad de la sustancia química distribuida entre los compartimentos ambientales (aire, agua, suelo y sedimentos);
- La estabilidad de la sustancia en el medio ambiente, es decir su vida media en el aire o en el agua, y las propiedades fisico-químicas tales como la volatilidad y la solubilidad en agua.
- Cuales condiciones ambientales (e.g. temperatura) cambian durante el transporte y por ende cuanto este cambio puede afectar la vida media de la sustancia en cuestión.
- La velocidad relativa en la cual se mueven las masas de aire y de agua a través de distancias en el aire y los océanos.

El transporte a través de ríos solo puede ser considerado sobre la base de un transporte regional, puesto que pocos ríos poseen extensiones mayores de 1.000 km de largo, de ahí que el transporte transfronterizo en medio acuoso, es esencialmente el que realizan los océanos que cubren cerca del 80% de la superficie terrestre.

[16] Jenson, J., Adare, K and Shearer, R. (1997). AMAP, Oslo, Norway (1997).

Tal como se mencionó en la sección referente a persistencia, la mayoría de las sustancias químicas habrán desaparecido dentro de un lapso de 5 vidas medias, permaneciendo sólo alrededor de un 3% de ella. Por lo tanto, si se considera que la velocidad natural típica del aire es de 1 m/s (86 km/día), de manera que para un transporte considerable a través de la atmósfera, de no menos de 1.000 km, una sustancia química (e.g. PCBs) necesitará tener una vida media no menor a 2 días de duración.

Sin embargo, las aguas de los océanos se mueven en general cientos de veces más lento que el aire. Una masa de aire puede ser transportada desde los trópicos hacia una región polar en sólo 5 a 6 días y para que masas de aguas oceánicas puedan desplazarse desde el Ecuador a los Polos, se requiere entre 10 a 15 años.

Sobre la base de la velocidad relativa de desplazamiento de las masas de agua oceánicas y el aire, una sustancia química (PCB) necesitará una vida media de algo más de 400 veces mayor en agua para un transporte de 1.000 Km, con respecto a su desplazamiento en el aire. En otras palabras, la atmósfera será un factor importante en el transporte de sustancias con una vida media mayor a 2 días, y a su vez el océano será un significativo contribuyente al transporte transfronterizo de sustancias que posean una vida media mayor a 2 años.

Estos criterios concuerdan con los siguientes requisitos de información del Convenio de Estocolmo, respecto del potencial de transporte a larga distancia (transfronterizo) en el medio ambiente:

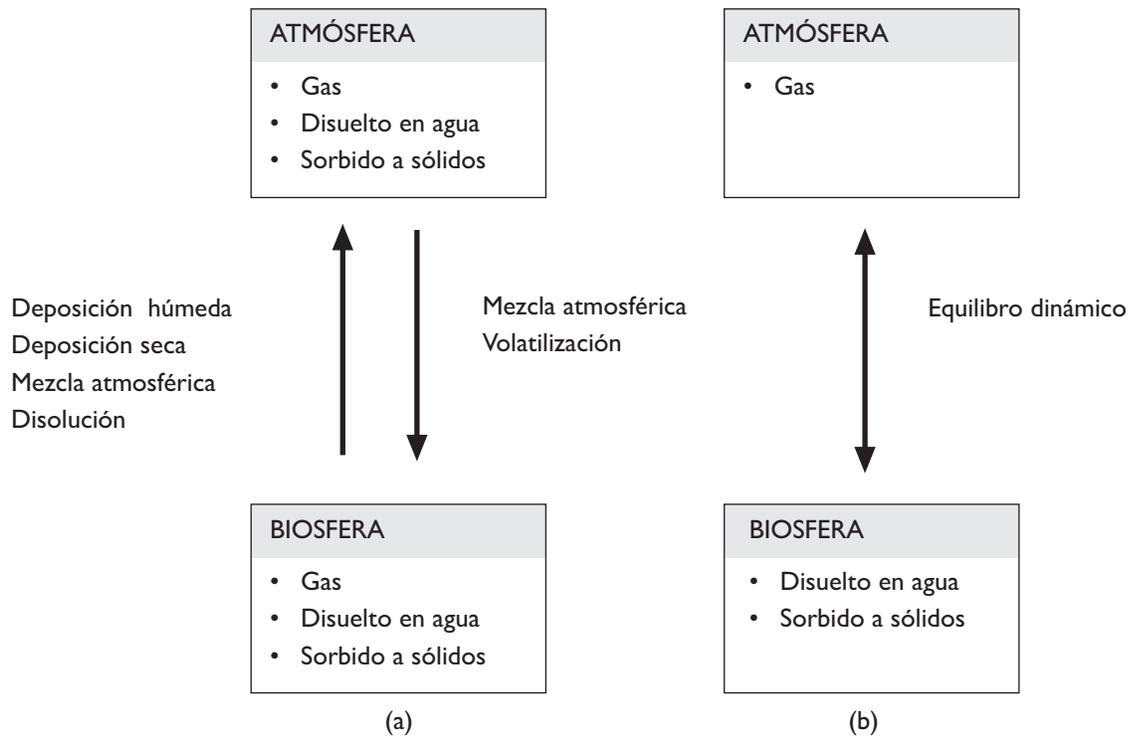
- "Niveles medidos del producto químico (en este caso PCBs) en sitios distantes de la fuente de liberación que puedan ser motivo de preocupación;"
- "Datos de vigilancia que muestren que el transporte a larga distancia del producto químico en el medio ambiente, con potencial para la transferencia a un medio receptor, puede haber ocurrido por medio del aire, agua o especies migratorias; o"
- "Propiedades del destino en el medio ambiente y/o resultados de modelos que demuestren que el producto químico tiene un potencial de transporte a larga distancia en el medio ambiente por aire, agua o especies migratorias, con potencial de transferencia a un medio receptor en sitios distantes de las fuentes de su liberación. En el caso de un producto químico que migre en forma importante por aire, su vida media en el aire deberá ser superior a 2 días."

A continuación, la Figura 2.10. presenta un esquema de la deposición en una región remota y un esquema simplificado de este proceso de transferencia neta de un contaminante o sustancia química desde la atmósfera hacia la biosfera. Tal como se ilustra, el contaminante puede existir en la atmósfera y en la biosfera en 3 formas: como gas, disuelto en agua o (ad)sorbido a sólidos. La transferencia del contaminante puede ocurrir de varias formas: deposición con la lluvia o con las partículas sólidas (deposición húmeda y seca); o bien la masa de aire puede incorporar la biosfera por mezcla atmosférica. Finalmente, la masa de aire se puede disolver directamente desde el aire atmosférico hacia el agua de la biosfera. Al mismo tiempo, la masa es re-transferida desde la biosfera hacia la atmósfera por mezcla y volatilización atmosférica. Luego la Figura 2.11. presenta las diferentes vías de transporte de contaminantes en los ambientes terrestres y acuáticos.

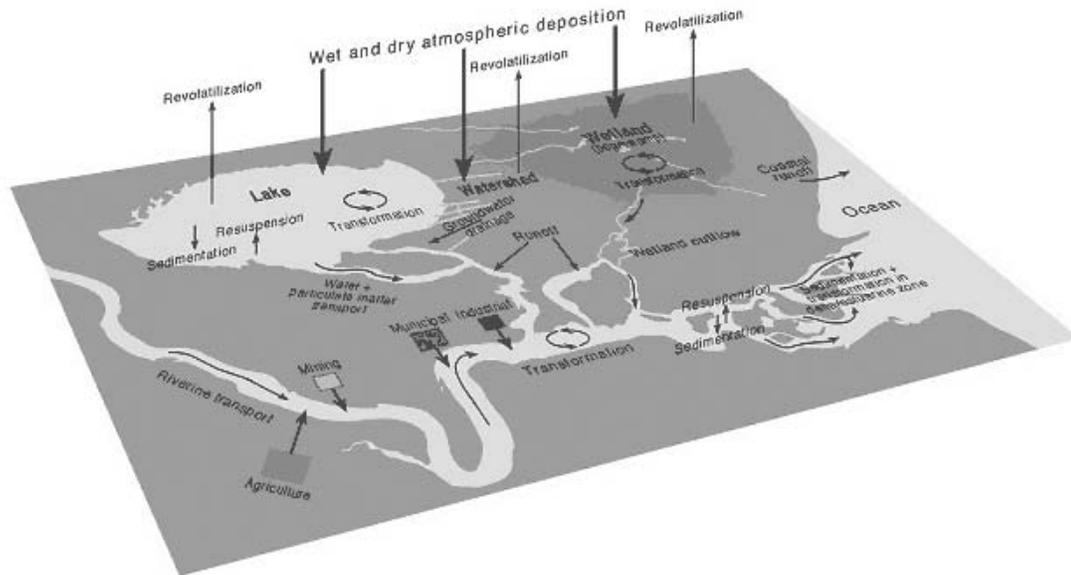
Posteriormente, la Figura 2.12. presenta un modelo instantáneo de transporte y liberación a larga distancia de contaminantes. A continuación, la Figura 2.13. muestra los resultados de AMAP<sup>[17]</sup> para el transporte de contaminantes en el Ártico en Enero y Julio y las frecuencias de los vientos en invierno y verano que conducen las principales rutas de transporte de Sur a Norte.

---

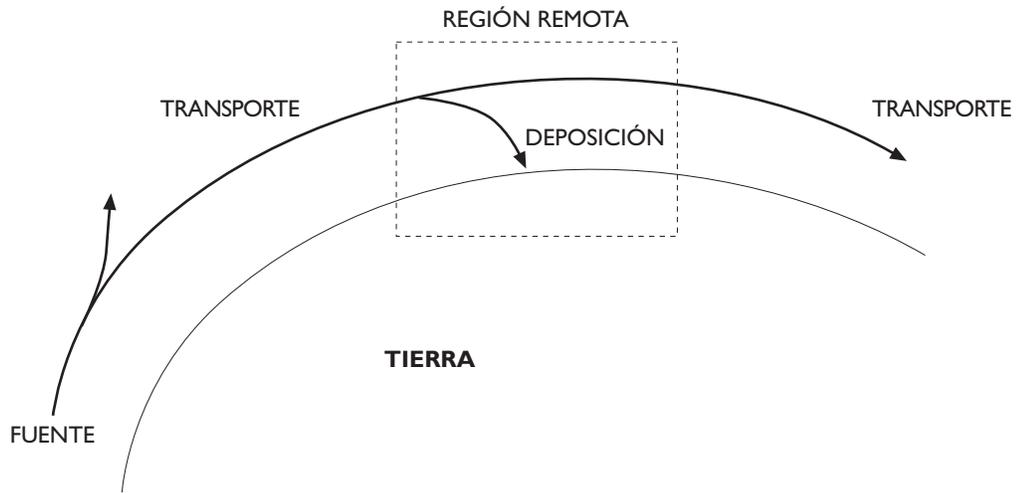
[17]: AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Programme.]



**Figura 2.10.** Esquema del depósito de un contaminante en región remota **(a)** y esquema simplificado **(b)** [Ref. D. Di Toro and F. Hellweger, 1999].



**Figura 2.11.** Diferentes vías de transporte de contaminantes en los ambientes terrestres y acuáticos. [Ref. AMAP]



**Figura 2.12.** Modelo instantáneo de transporte y liberación a larga distancia de contaminantes [Ref. D. Di Toro and F. Hellweger, 1999].

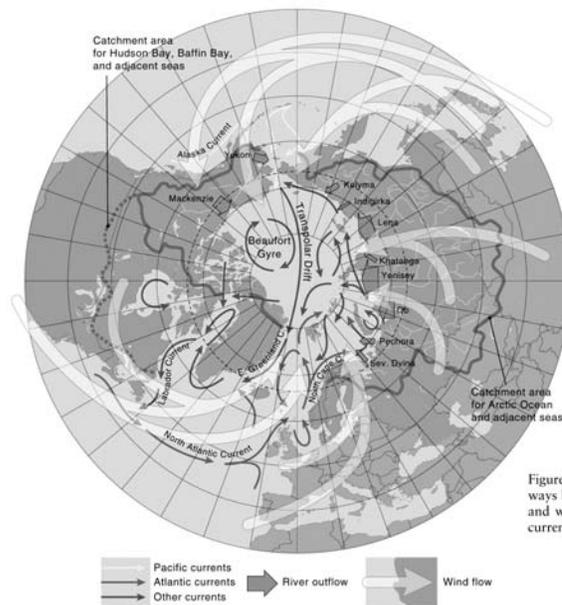


Figure 2-1. Illustration of the different physical pathways by which POPs enter the Arctic. Transport into, and within, the Arctic occurs via air currents, ocean currents, rivers, and transpolar ice movements.

**Figura 2.13.** Ilustración de las diferentes vías físicas por las cuales los COPs regresan al Ártico. El transporte hacia y dentro del Ártico ocurre vía corriente de aire, corrientes oceánicas, ríos y movimientos de hielo transpolares. [Ref. AMAP 2002]

# CAPÍTULO 3 Identificación de PCBs

El presente Capítulo describe los principales usos de los equipos y materiales que contienen o pueden contener PCBs, a fin de servir al usuario como herramientas para su identificación.<sup>[18]</sup> <sup>[19]</sup> <sup>[20]</sup>

## 3.1. USOS DE LOS PCBs

Las características mencionadas en el Capítulo anterior los han hecho muy utilizados en diversas aplicaciones, muchas de las cuales se encuentran aun en uso, incluyendo:

- Fluidos dieléctricos en equipos eléctricos (e.g. transformadores, condensadores)
- Adhesivos
- Agentes antipolvo
- Lubricantes para cuchillas
- Pirorretardantes
- Líquidos de transferencia de calor
- Aceites lubricantes
- Fluidos hidráulicos
- Aceites de corte
- Selladoras
- Aditivos de pinturas
- Papel de copia sin carbón
- Plaguicidas (para aumentar el volumen del plaguicida)

Los usos o aplicaciones de PCBs se han clasificado <sup>[21]</sup> según su presencia en **sistemas cerrados, parcialmente cerrados y abiertos**, de acuerdo a su facilidad de escape hacia el medio ambiente. Así, los PCBs contenidos en sistemas cerrados no pueden escapar fácilmente al medio ambiente. Generalmente los sistemas cerrados y parcialmente cerrados contienen PCBs en aceites o fluidos. Los PCBs en sistemas abiertos toman la forma del producto donde han sido utilizados como un ingrediente, por lo tanto pueden encontrarse en formas que varían desde pintura a plástico o goma.

Es útil conocer las fuentes de materiales con PCBs, que han sido utilizadas en diversas aplicaciones. Aunque los nombres comerciales de las mezclas de PCBs no son específicos a las aplicaciones, la inclusión de una mezcla particular puede ayudar a identificar información útil para el manejo de PCBs o materiales que contienen PCBs.

Los nombres comerciales de las mezclas de PCBs, probablemente solo serán útiles para propósitos de identificación con aplicaciones cerradas y parcialmente cerradas donde las etiquetas de los equipos y la literatura del fabricante provee de información sobre ellas (ver Tabla A.1., Anexo A). En el caso de las aplicaciones abiertas, con ausencia de etiquetas o de indicaciones escritas, generalmente se necesitan análisis químicos para determinar la presencia de PCBs.

A continuación se presenta un esquema <sup>[22]</sup> UNEP, IOMC (1999).] (Figura 3.1.) del movimiento de PCBs desde las diferentes fuentes, pasando por las etapas de su ciclo de vida, hasta llegar al medio ambiente.

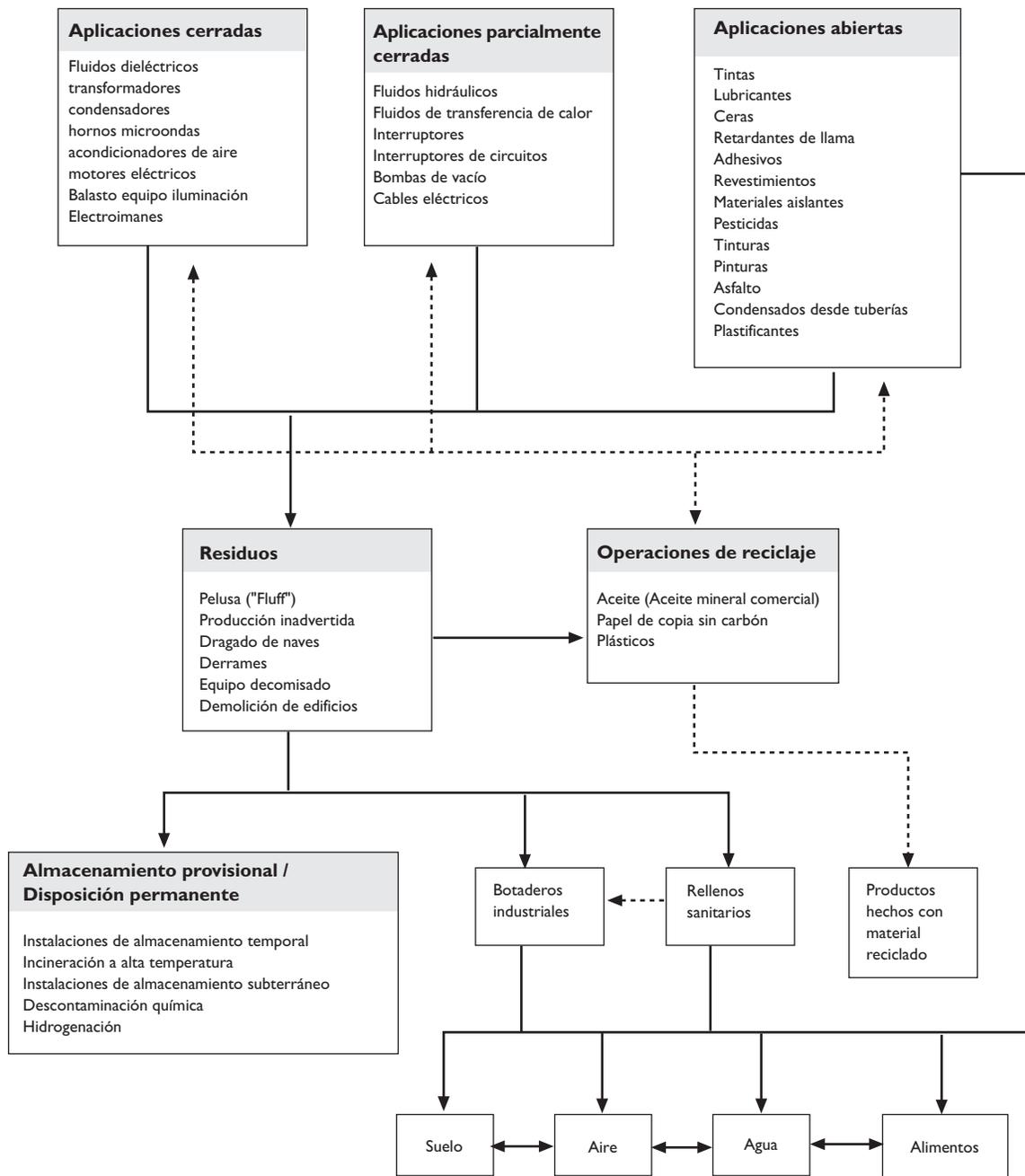
[18]: UNEP, IOMC (1999).

[19]: UNEP, IOMC (2000).

[20]: UNEP, SBC, IOMC (1998).

[21]: UNEP, IOMC (1999).

[22]: UNEP, IOMC (1999).



**Leyenda**

— Movimiento de PCBs a través de la fabricación, uso y disposición.

..... Reciclaje accidental e intencional de PCBs.

**Figura 3.1.** Movimiento de PCBs hacia el medio ambiente [Ref. UNEP, IOMC, 1999].

### 3.1.1. USOS CERRADOS

En una aplicación o uso cerrado, los PCBs se mantienen completamente dentro del equipo y bajo ninguna circunstancia deben estar expuestos al usuario o al medio ambiente; sin embargo, pueden ocurrir emisiones de PCBs durante la mantención, reparación y desarme del equipo o como resultado del equipo dañado. La Tabla 3.1. presenta ejemplos de usos cerrados de PCBs.

**Tabla 3.1.** Aplicaciones cerradas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

<b>Transformadores eléctricos</b>
Condensadores eléctricos:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores para mejorar el factor de potencia en sistemas de distribución eléctricos</li> <li>• Balasto de equipo de iluminación ("lighting ballasts")</li> <li>• Condensadores de motor de partida en refrigeradores, sistemas de calefacción, acondicionadores de aire, secadores de pelo, motores de pozos de agua, etc.</li> <li>• Condensadores en equipo electrónico incluyendo aparatos de televisión y hornos microondas.</li> </ul>
Motores eléctricos (menor uso en algunos motores especiales enfriados con fluidos)
Imanes eléctricos (menor uso en algunos imanes de separación enfriados con fluidos)

#### 3.1.1.1. Transformadores

El transformador es un componente muy importante en varios tipos de circuitos eléctricos, desde circuitos desde circuitos electrónicos de baja señal hasta sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su tamaño y forma es muy variada dependiendo de su uso y su estructura principal consiste en una o más bobinas eléctricas (o enrollamientos [windings]) unidos magnéticamente por un circuito magnético o núcleo. En muchos transformadores grandes, la unidad completa es llenada con un fluido dieléctrico (a menudo un aceite que puede contener PCBs) para aumentar la aislación entre las bobinas eléctricas y enfriarlas. Así, cualquier daño a la carcasa del transformador puede resultar en una fuga de fluido PCB. Es importante destacar que aunque los transformadores con aceite mineral no contienen intencionalmente PCBs, suelen contaminarse por el uso de equipos comunes de llenado o el llenado de mantenimiento con aceite usado o reciclado.

En los sistemas de transporte de energía eléctrica los transformadores son de gran tamaño, se ubican en las subestaciones de poder y pueden estar destinados a elevar el voltaje que produce una central generadora de electricidad a un nivel de voltaje de transmisión, o bien, a bajar el voltaje desde el nivel de transmisión al de distribución. Es por ello que las subestaciones de poder se encuentran ubicadas en las cercanías de centrales generadoras de electricidad o cerca de las ciudades .

En los sistemas de distribución, los transformadores utilizados son de tamaño menor y comúnmente se encuentran instalados en forma aérea en los postes de las compañías de electricidad, y su función es bajar el voltaje para el uso doméstico o industrial. Se utilizan aceites de PCBs sintéticos en lugares que requieren transformadores resistentes al fuego, como por ejemplo dentro de edificios y en plantas nucleares.

Los transformadores también se encuentran en muchos circuitos de comunicación donde su función es equiparar una carga a una línea para una transferencia de poder mejorada y para mejorar la calidad de transmisión.

Muchos transformadores están bajo el control de las compañías que generan y distribuyen electricidad, aunque algunas industrias generan electricidad privadamente, tales como las instalaciones militares, molinos de acero, plantas de montaje y fabricación, y ferrocarriles.

Las Tablas A.1, A.2. y A.4. del Anexo A contienen información sobre transformadores con PCBs, nombres comerciales, compañías fabricantes y usos mas probables según la actividad industrial.

### 3.1.1.2. Condensadores

Un condensador es un dispositivo que acumula y libera una carga de electricidad. Su estructura principal consiste en superficies conductoras de electricidad separadas por un material dieléctrico, el cual puede o no contener PCBs. Generalmente dicha estructura está contenida en un recipiente de metal completamente sellado lleno con el fluido dieléctrico. La identificación de condensadores que contienen fluidos dieléctricos con PCBs puede ser complicada, puesto que a menudo son difíciles de localizar, por encontrarse ubicados en distintos puntos de una red eléctrica o como unidades individuales dentro de edificios.

En las tablas A.1., A.3. y A.4. del Anexo A, se presenta información para la identificación de condensadores con PCBs, los usos mas probables, compañías fabricantes, designaciones de tipo de los equipos, fechas de producción y nombres comerciales de las mezclas de PCBs.

#### Condensadores para regulación de voltaje

Corresponden a condensadores relativamente grandes que se localizan distintos puntos de una red de distribución eléctrica, para mantener el voltaje dentro de un rango preestablecido. También pueden encontrarse en las subestaciones de poder, instalados en estanterías (banco de condensadores).

#### Condensadores para corrección de factor de potencia

Son condensadores, cuyo tamaño dependerá de la potencia efectiva que demande la instalación donde se requiera mejorar dicho factor. Estos condensadores se pueden encontrar en distintos tipos de instalaciones, como por ejemplo, fábricas, oficinas, escuelas, hospitales, tiendas, instalaciones militares, etc.

#### Condensadores de motor de partida

Son condensadores pequeños usados en motores monofásicos ("single-phase motors") para proveer el torque de partida. Pueden encontrarse en aplicaciones eléctricas incluyendo secadores de pelo, máquinas de lavado, secadores de ropa, bombas de pozo ("down-well water pumps"), ventiladores y acondicionadores de aire. Generalmente contienen menos de 1,4 Kg de fluido dieléctrico.

#### Balasto para equipo de iluminación ("light ballasts")

Se pueden encontrar dentro de fuentes luminosas fluorescentes, de mercurio y de sodio, y en luces de neón. Están compuestos de un pequeño transformador, un condensador y un interruptor de protección térmica ("thermal cut-off switch"). El condensador es el único componente que puede contener PCBs, frecuentemente alrededor de 0,1 Kg de fluido PCB. En luces fluorescentes, los balastos ("ballasts") están localizados bajo la tapa de metal que esta detrás de los tubos de iluminación (lámparas). Los balastos fabricados en Estados Unidos después de 1978 están etiquetados como "sin PCBs" y por lo tanto cualquier balasto no etiquetado, proveniente de Estados Unidos, debe asumirse que contiene PCBs<sup>[23]</sup>

---

[23]: US EPA (1993)

### 3.1.2. USOS PARCIALMENTE CERRADOS

En las aplicaciones parcialmente cerradas el aceite de PCBs no está directamente expuesto al medio ambiente, pero puede llegar a estarlo durante su uso. Estos usos también pueden liberar PCBs a través del aire o por descarga al agua. Ejemplos de sistemas parcialmente cerrados incluyen sistemas de transferencia de calor e hidráulicos y bombas de vacío. La Tabla 3.2. presenta varios usos parcialmente cerrados de PCBs y los rubros industriales característicos donde son utilizados.

**Tabla 3.2.** Aplicaciones parcialmente cerradas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

Aplicación	Rubros industriales característicos
Fluidos de transferencia de calor y refinerías de petróleo.	Industrias químicas inorgánicas y orgánicas, de plásticos y sintéticos,
Fluidos hidráulicos acero y hierro.	Equipamiento para minería; industrias moldeo de aluminio, cobre,
Bombas de vacío	Manufactura de componentes electrónicos; aplicaciones de laboratorio, instrumentos e investigación; sitios de descarga de aguas residuales.
Interruptores[*]	Compañías de electricidad
Reguladores de voltaje[*]	Compañías de electricidad
Cables eléctricos rellenos con líquido[*] ("liquid filled electrical cables")	Compañía de electricidad y plantas de generación privada de electricidad (e.g. instalaciones militares).
Interruptores de circuitos rellenos con líquido[*] ("liquid filled circuit breakers")	Compañías eléctricas

[\*] Estas aplicaciones generalmente no fueron diseñadas para contener materiales con PCBs, pero pueden llegar a contaminarse mediante el servicio y la mantención regular.

### 3.1.3. USOS ABIERTOS

Son aplicaciones en las cuales los PCBs se encuentran en contacto directo con lo que les rodea y así pueden ser fácilmente transferidos al medio ambiente. En este caso, el contacto directo de los PCBs con el medio ambiente es de mayor importancia que los usos cerrados. Los plastificantes son el mayor grupo de aplicaciones abiertas y son usados en PCV (policloruro de vinilo), neopreno y otras gomas cloradas. Otros usos abiertos que han utilizado PCBs incluyen retardantes de fuego en pinturas y en cobertores superficiales, y plastificantes en adhesivos. La Tabla 3.3., presenta las aplicaciones abiertas de los PCBs.

**Tabla 3.3.** Aplicaciones abiertas de PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

<p><b>Lubricantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceites de inmersión para microscopios (medio de montaje)</li> <li>• Forro de frenos</li> <li>• Aceites de corte</li> <li>• Aceites lubricantes             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compresores de aire con gas natural</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Cobertores superficiales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas (En superficies inferiores de barcos)</li> <li>• Tratamiento superficial para textiles</li> <li>• Papel de copia sin carbón (sensible a la presión)</li> <li>• Retardantes de fuego             <ul style="list-style-type: none"> <li>- En tejas del techo, muebles y paredes</li> </ul> </li> <li>• Control de polvo             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carpetas de polvo ("dust binders")</li> <li>- Asfalto</li> <li>- Tuberías de gas natural</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Ceras para moldeo "Casting waxes"</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceras patrones para moldeos ("Pattern waxes for investment castings")</li> </ul> <p><b>Adhesivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adhesivos especiales</li> <li>• Adhesivos para revestimientos a prueba de agua en paredes</li> </ul> <p><b>Plastificantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selladores de empaquetaduras</li> <li>• Material de relleno en juntas de concreto</li> <li>• PCV (plásticos de policloruro de vinilo)</li> <li>• Sellos de goma (Alrededor de ventilaciones, puertas y ventanas)</li> </ul> <p><b>Tintas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinturas; Tintas de impresión</li> </ul> <p><b>Otros usos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales aislantes; Pesticidas[*]</li> </ul>
---	---

[\*] Fragmentos de fluido de transformador ha sido utilizado como un ingrediente en fórmulas de pesticidas.

### 3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PCBs POR CONCENTRACIÓN [24]

Se han desarrollado sistemas de clasificación de fluidos y materiales que contienen PCBs, como herramientas de priorización de actividades de manejo, así como para establecer condiciones de uso y trabajo seguro. A continuación se presentan 2 tipos de sistemas de clasificación, el "Sistema de ppm" basado en las regulaciones de Estados Unidos y el "Sistema de porcentaje en peso", basado en las regulaciones de Suecia.

**Tabla 3.4.** Sistemas de clasificación de PCBs por concentración [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

<p><b>Sistema de Partes por millón (ppm)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 500 ppm = PCB "puro" regulado</li> <li>• 50 a 500 ppm = contaminación por PCB regulada</li> <li>• 5 a 50 ppm = contaminación por PCB potencialmente regulada</li> <li>• &lt; 5 ppm = no - PCB</li> </ul>	
<p><b>Sistema de Porcentaje en peso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,1 % en peso = contaminación por PCB regulada</li> </ul> <p>Las regulaciones sobre PCB generalmente se aplican a los equipos que contienen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 500 litros de &gt; 0,1 % en peso de fluido PCB; o</li> <li>• &gt; 0,5 kgs de fluido PCB 100%</li> </ul> <p>Nota: 0,1% en peso = 1000 ppm</p>	

Países, como Australia, Canadá, Alemania, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos, consideran como el nivel de referencia para la regulación de PCBs a los materiales con concentración de 50 ppm de PCBs, de modo que los materiales con concentraciones mayores a este valor, deben manejarse de acuerdo a con regulaciones específicas.

[24] UNEP, IOMC (1999).

### 3.3. ETIQUETADO DE PCBs Y DESIGNACIONES DE TIPO DE EQUIPOS

Históricamente algunas compañías han designado su propio método de identificación de las mezclas comerciales de PCBs, como por ejemplo la serie “**Aroclor**” fabricada por Monsanto Chemical Company, que utiliza un código de identificación de cuatro (4) dígitos, siendo los dos primeros dígitos indicativos de que la mezcla contiene bifenilos (“12”), terfenilos (“54”) o ambos (“25”, “44”), y los dos últimos representan el porcentaje en peso de cloro en la mezcla (e.g. Aroclor 1242, contiene bifenilos con un 42 % de cloro) [25]. Una excepción a esta regla es el Aroclor 1016, el cual es un producto de destilación del Aroclor 1242, que contiene solo un 1% de componentes con 5 o más átomos de cloro [26].

En otros productos comerciales, los códigos pueden indicar el número promedio aproximado de átomos de Cloro en los componentes de la mezcla; así el Clophen A60, Phenochlor DP6 y Kanechlor 600 son Bifenilos con un promedio de 6 átomos de Cloro por molécula (equivalente al 59% de Cloro en peso).

### 3.4. RESIDUOS QUE CONTIENEN PCBs [27]

Aunque la fabricación, procesamiento, distribución y uso de PCBs están extensamente prohibidos, aún existen diferentes actividades que generan residuos, incluyendo exenciones otorgadas a ciertos usos de PCBs, la producción incidental de PCBs, las operaciones de reciclado y las cantidades mantenidas mientras los equipos se encuentran en servicio. Las tablas A.4. y A.5. del Anexo A, proporcionan información adicional sobre residuos con PCBs, incluyendo ubicaciones de los rubros industriales y fuentes. La información incluida en la Tabla A.5. contiene la relación entre las fuentes y actividades con los sitios en los cuales es más probable encontrar estos residuos. Por lo tanto es posible utilizar esta Tabla para hacer seguimiento a las existencias de residuos de PCBs hacia su fuente de actividad original o para predecir donde pueden ser encontrados como resultado de una actividad específica productora de PCBs. A continuación se presentan ejemplos específicos de las actividades que generan residuos de PCBs.

#### 3.4.1. PCBs UTILIZADOS EN ACEITES [28]

Debido a que los PCBs fueron ampliamente utilizados en equipos que están aun en uso hoy en día, el aceite colectado desde éstos contiene frecuentemente concentraciones detectables de PCB. Este aceite proviene principalmente de fuentes industriales y automotrices y de equipos eléctricos.

Las fuentes industriales generalmente son plantas o fábricas donde el aceite usado es empleado como fluido en sistemas hidráulicos y de transferencia de calor. El aceite usado de transformador con PCBs ha sido a menudo mezclado con aceite mineral usado, en operaciones de reciclaje de aceite, de modo que se suelen encontrar bajas concentraciones de PCBs en aceite reciclado usado en tractores y automóviles. Las fuentes automotrices generalmente son estaciones de gasolina y flotas de vehículos comerciales que colectan el aceite del cárter del motor, transmisión, radiador y otros sistemas relacionados con el vehículo. Además, el condensado en las tuberías de gas natural puede llegar a estar contaminado con PCBs por el contacto de aceites que contienen PCBs utilizados en los compresores de tales tuberías. Los usuarios de aceite de desecho deben utilizar tests para determinar la presencia y concentración de PCBs.

---

[25] Budavari (1996).

[26] IPCS/WHO, EHC 140 (1993).

[27] UNEP, IOMC (1999).

[28] UNEP, IOMC (1999).

### 3.4.2. DRAGADO MARINO DE AGUAS Y SEDIMENTOS CONTAMINADOS CON PCBs [29]

A lo largo de los años se han descargado grandes cantidades de PCBs en ambientes acuáticos, como ríos, lagos y estuarios. Los PCBs tienden a absorberse fuertemente a los sedimentos [30]. El dragado desde el fondo, para permitir la navegación de naves, puede generar residuos de sedimentos contaminados con niveles de PCBs sobre 50 ppm. El uso de PCBs en fluidos hidráulicos en equipo minero es una de las mayores fuentes de PCBs que pueden asentarse en agua y sedimentos de ríos.

### 3.4.3. REPARACIÓN Y DESARME DE EQUIPOS [31]

Una fuente de residuos tóxicos es la reparación y el mantenimiento de equipos que contienen PCBs; así por ejemplo, en el caso de una ruptura, los transformadores son reparados ya sea por el fabricante, o más comúnmente en locales de reparación que crean residuos con PCBs en esos lugares. Otras fuentes significativas de PCBs pueden incluir materiales de desecho generados por la limpieza de fugas de fluido dieléctrico en instalaciones industriales y la explosión o sobrecalentamiento de transformadores o condensadores. Además, el desarme de equipos que contienen PCBs puede introducir (contenidos inicialmente) PCBs en el medio ambiente, a menudo en la forma de pelusa ("fluff") [32]. Dado que los transformadores y condensadores eléctricos tienden a tener vidas útiles relativamente largas (unos 40 años), los PCBs utilizados en dichas aplicaciones van a continuar presentando un problema de disposición adecuada por largo tiempo.

### 3.4.4. DEMOLICIÓN DE EDIFICIOS [33]

En general, se producen grandes cantidades de residuos en la demolición de edificios. De estos residuos, los PCBs deben encontrarse en el material de relleno de los empalmes de las estructuras de concreto, revestimientos retardantes de fuego en las tablas del techo (o tejas), balastos ("ballasts") de luz fluorescente, recubrimientos e mobiliarios, tratamientos superficiales de textiles, adhesivos para revestimientos de paredes a prueba de agua, pinturas, materiales aislantes, masillas sellantes, y condensadores grandes y pequeños (encontrados en aplicaciones y aparatos eléctricos).

### 3.4.5. VOLATILIZACIÓN Y LIXIVIACIÓN DESDE RELLENOS SANITARIOS [34]

De los PCBs que ya han sido dispuestos, muchos han sido depositados en rellenos sanitarios, incluyendo rellenos municipales, industriales y de lodos de alcantarillado. Sin embargo, los PCBs pueden ser liberados desde estos rellenos sanitarios por volatilización hacia la atmósfera y lixiviación hacia el agua subterránea. Es probable que mucho del PCB distribuido en el residuo fuera originalmente guardado en contenedores, tales como condensadores, o en resinas plastificadas desde donde no serán liberados al medio ambiente hasta que el medio contenedor decaiga o sea dañado. Así, la difusión de los PCBs desde los rellenos sanitarios es probable que sea lenta.

---

[29] UNEP, IOMC (1999).

[30] Los niveles de PCBs en agua generalmente son bajos (< 1ng/L); sin embargo se han observado concentraciones mayores cerca de instalaciones industriales (sobre 500 ng/L). En sedimentos las concentraciones totales de PCBs generalmente están en el rango de 10 a 2000 µg/kg p.s. (microgramos por kilogramo en base peso seco); sin embargo se han reportado valores tan altos como 190.000 mg/kg cerca de sitios contaminados (UNEP, IOMC, 1999).

[31] UNEP, IOMC (1999).

[32] Pelusa ("Fluff"): residuos que incluyen material de tapicería, acolchado y aislación, producidos de la fragmentación de aplicaciones eléctricas y de autos.

[33] UNEP, IOMC (1999).

[34] UNEP, IOMC (1999).

### 3.4.6. OPERACIONES DE RECICLAJE <sup>[35]</sup>

A través de varias operaciones de reciclaje, los PCBs han encontrado su manera de volver a la secuencia comercial. Por ejemplo, suministros de residuos de papel (papel de copia sin carbón) pueden haber sido reciclados en papel y tablas usadas como materiales de embalaje de alimentos. Otra vía importante de exposición ambiental de PCBs es a través del reciclaje de chatarra y aceite de desecho. Adicionalmente, mezclas recicladas que contienen PCBs han sido detectadas en formulaciones de plaguicidas y jabón blando.

### 3.4.7. INCINERADORES <sup>[36]</sup>

Las emisiones de PCBs pueden ocurrir durante la incineración de residuos industriales y municipales (e.g. incineradores de residuos y lodos). Muchos incineradores municipales no son efectivos en la destrucción de PCBs. Se recomienda que la destrucción de residuos contaminados con PCBs sea cuidadosamente controlada, especialmente respecto a la temperatura de quemado (sobre 1100 °C), el tiempo de residencia y la turbulencia.

### 3.4.8. PRODUCCIÓN ACCIDENTAL POR FABRICACIÓN Y USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS ORGÁNICOS <sup>[37]</sup>

Hay varios procesos industriales en las fábricas de pigmentos orgánicos, pesticidas, productos químicos y refinación de aluminio, que accidentalmente producen materiales con PCBs. Los PCBs pueden producirse cuando se presentan juntos cloro, hidrocarburos y temperaturas elevadas (o catalizadores). Se espera que aproximadamente el 90% de esta producción contenga menos de 50 ppm de PCBs y aproximadamente el 5 - 10% pueda contener entre 50 y 500 ppm de PCBs.

## 3.5. IDENTIFICACIÓN POR ETAPAS DE EQUIPOS Y MATERIALES CON PCBs

Para la identificación de los equipos y materiales que contienen PCBs, la División de Productos Químicos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP Chemicals) <sup>[38]</sup> elaboró un procedimiento por etapas, con Tablas guías específicas según: usos de PCBs por rubro de actividad industrial; compañías fabricantes de transformadores con PCBs; compañías y marcas comerciales de condensadores que contienen PCBs; nombres comerciales y sinónimos de mezclas de PCBs; y residuos mas probables que contienen PCBs. Todas ellas incluidas en el Anexo A.

---

[35] UNEP, IOMC (1999).

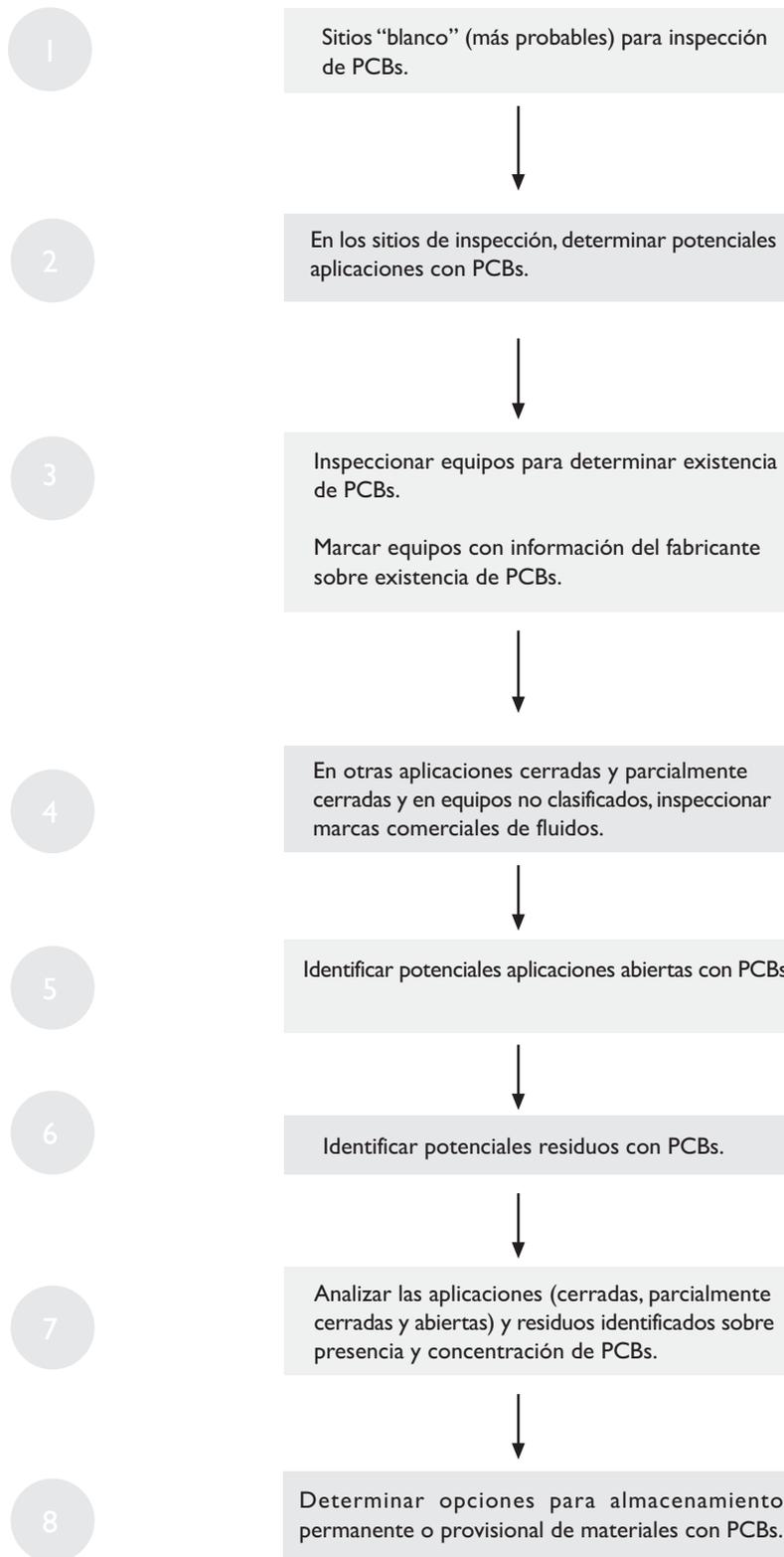
[36] UNEP, IOMC (1999).

[37] UNEP, IOMC (1999).

[38] UNEP, IOMC (1999).

**Tabla 3.5.** Etapas para la identificación de equipos y materiales con PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

<b>ETAPA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>CONSULTAR</b>
<b>ETAPA 1</b>	Determinar los posibles sitios “blanco” (más probables) para la inspección de PCBs.	Tabla A.4., Anexo A, “Usos de los PCBs según actividad industrial”
<b>ETAPA 2</b>	En los sitios “blanco”(mas probables), determinar las potenciales aplicaciones que contienen PCBs.	Tabla A.4., Anexo A “Usos de los PCBs por actividad industrial”. Capítulo 3, "Identificación de PCBs".
<b>ETAPA 3</b>	En todos los transformadores y condensadores, inspeccionar los equipos para tener una indicación inicial de que contienen PCBs. Marcar los equipos con información de las compañías fabricantes sobre productos que contienen PCBs.	Capítulo 3.1.1., "Usos cerrados". Tabla 3.1., Capítulo 3.1.1., "Aplicaciones cerradas de PCBs". Tabla A.2., Anexo A, “Compañías fabricantes de transformadores que contienen PCBs”. Tabla A.3., Anexo A, “Compañías fabricantes y marcas comerciales de condensadores que contienen PCBs”. Literatura del fabricante, registros de mantenimiento y asociaciones comerciales.
<b>ETAPA 4</b>	Para otras aplicaciones cerradas y parcialmente cerradas y transformadores y condensadores no clasificados, inspeccionar por indicaciones de las marcas comerciales de los fluidos con PCBs	Tabla A.1., Anexo A, “Nombres, sinónimos y fabricantes de mezclas comerciales de PCBs”. Capítulo 3, "Identificación de PCBs". Literatura del fabricante, registros de mantenimiento y asociaciones comerciales.
<b>ETAPA 5</b>	Potenciales aplicaciones abiertas que contienen PCBs.	Capítulo 3.1.3. "Usos abiertos". Tabla 3.3., Capítulo 3.1.3., “Aplicaciones abiertas de PCBs”.
<b>ETAPA 6</b>	En los sitios “blanco” (mas probables), determinar los potenciales residuos que contienen PCBs.	Tabla A.5., Anexo A, “Residuos que contienen PCBs”. Capítulo 3.4, "Residuos que contienen PCBs".
<b>ETAPA 7</b>	Analizar las aplicaciones cerradas, parcialmente cerradas y abiertas identificadas, y analizar los residuos para determinar la presencia actual y la concentración de PCBs.	Capítulo 8.1., sobre tests para determinar la presencia y concentración de PCBs.
<b>ETAPA 8</b>	Determinar las opciones específicas y ambientalmente responsables del país para el almacenamiento permanente o provisional de los materiales descubiertos que contienen PCBs.	Capítulo 6.1., sobre almacenamiento de PCBs.



**Figura 3.2.** Esquema de las etapas para la identificación de equipos y materiales con PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

# CAPÍTULO 4 Situación de los PCBs en Chile

Bajo el marco de las negociaciones de Chile para el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), CONAMA ha elaborado diversos estudios enfocados en la determinación de la situación nacional de los Bifenilos Policlorados (PCBs). A continuación se detallan los resultados de dichos estudios en base a la situación regional.

## 4.1. CATASTRO DE PCBs

El "Diagnóstico Nacional de Contaminantes Orgánicos Persistentes" elaborado por el Centro EULA-Chile de la Universidad de Concepción recopiló los resultados del catastro preliminar de PCBs realizado por CONAMA [39] y del catastro nacional de volumen de dieléctrico con PCBs en empresas eléctricas chilenas, realizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) [40] según requerimiento de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente de la Cámara de Diputados.

Toda esta información se recopiló mediante un sistema de encuestas en las cuales se identificaba al usuario de los equipos o materiales con PCBs, y luego se registraba el tipo de equipo, volumen de dieléctrico, estado del equipo (en uso o almacenado) y si se había o iba a ser enviado a alguna empresa especializada para su eliminación. Además, el catastro de CONAMA y Centro EULA incorporó un sistema de evaluación de las condiciones de almacenamiento de los equipos y materiales con PCBs, tal como se presenta en el Capítulo 6, específicamente en el subcapítulo 6.1.3.

El formato de encuesta utilizado en los catastros realizados por CONAMA y el Centro EULA se encuentra adjunto (**Figura 4.1.**; "Ficha de Antecedentes de Equipos Eléctricos y Recipientes con Bifenilos Policlorados (PCBs)") en la página siguiente. Éste se aplicó en 72 empresas pertenecientes a las regiones II, III, V, VIII, X y Metropolitana, que concentran la actividad minera, industrial, energética y petroquímica del país, principalmente en aquellas empresas con alto volumen de consumo energético y/o presentes en el país antes de 1982, año de la prohibición de la Superintendencia de Servicios Eléctricos y de Gas (SEG) [41] al uso de PCBs en equipos eléctricos [42]. Toda la información de los catastros, se incorporó a una base de datos para uso de las instituciones gubernamentales involucradas en la gestión de estos compuestos.

La información obtenida de la SEC se recopiló de 76 empresas eléctricas bajo su ámbito de fiscalización, ubicadas a lo largo del país.

---

[30] CONAMA, CONAMA RM, SESMA, SS Antofagasta (2000).

[40] Estudio realizado el año 2000 por la SEC, sobre el volumen de dieléctrico conteniendo PCBs en empresas chilenas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica y otras empresas relacionadas, y recopilación de información sobre el destino de ciertos aceites provenientes de transformadores, condensadores y cualquier otro equipo eléctrico.]

[41] Actual Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC.,

[42] Resolución Exenta N° 610, 03 Septiembre 1982, SEG.



A continuación se destacan los principales resultados del catastro de PCBs:

Tipo y número de empresas encuestadas:

**Tabla 4.1.** Tipo y número de empresas encuestadas por CONAMA/Centro EULA-Chile y SEC [Ref. CONAMA, Centro EULA-Chile, 2001]

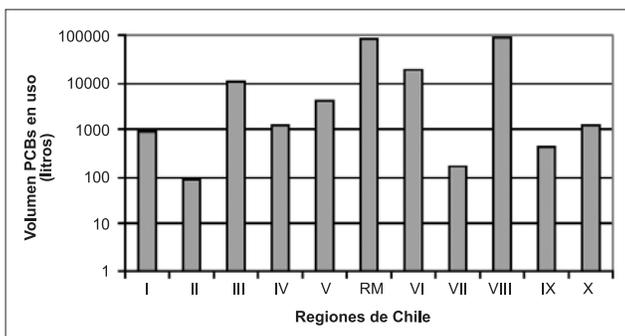
Número de Industrias por región	Mineras	Pesqueras	Refinerías	Fundiciones	Petroquímica	Empresas forestales	Rubro Eléctricas	Rubro de Alimentos	Otros	Encuesta SEC [*]
I Región										4
II Región	5	2		1	1		1		3	3
III Región	3			1						3
IV Región										4
V Región	1		1	2	1		4	2	2	12
Región Metropolitana			1	1		1	1	2		22
VI Región	1									2
VII Región	8									
VIII Región	3				5	4		1	4	8
IX Región	3									
X Región	1	1					4	4	5	3
XI Región										1
XII Región										1
TOTAL	14	3	2	5	7	9	10	10	12	76

[\*] Empresas bajo el ámbito de fiscalización de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC.

**Volumen declarado de PCBs EN USO:**

**Tabla 4.2.** Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y en uso en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].

REGIÓN	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
Volumen Total (litros)	945	87	11056	1182	4214.9	81715	19391	173	87980	450	1187	0		208380,9

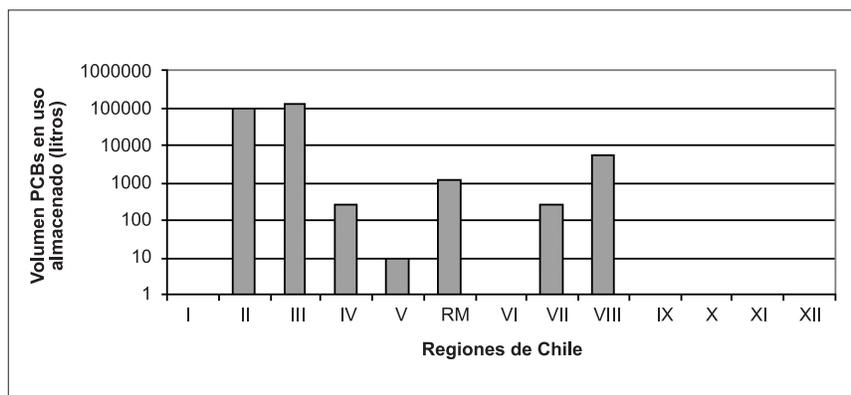


**Figura 4.2.** Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y en uso en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].

**Volumen declarado de PCBs ALMACENADOS:**

**Tabla 4.3.** Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y almacenados en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].

REGIÓN	I	I	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
Volumen	0	98902	137107	274	10	1212	0	270	5176,2	0	0	0		242951,2



**Figura 4.3.** Volumen total declarado de aceites dieléctricos con PCBs, por región y almacenados en Chile [Ref. CONAMA, 2000; CONAMA/Centro EULA, 2001].

Las cantidades de aceites dieléctricos con PCBs informadas en este estudio, corresponden a la situación declarada por las empresas, en las encuestas realizadas por CONAMA, Centro EULA y SEC y **solo representan la cantidad mínima existente de aceites con PCBs en uso y almacenados presentes en el país** en las fechas en que se hicieron las encuestas, lo cual no es extrapolable a la situación nacional.

Existen 242.951,2 litros almacenados de aceite dieléctrico que contiene PCBs, los cuales deben ser eliminados, de acuerdo a los requerimientos del Convenio de Estocolmo (ver subcapítulo 5.6.), para evitar la posible contaminación del medio ambiente, ya sea por fugas o incendios no intencionales debidas a las condiciones de almacenamiento en su mayoría ineficientes. Estos volúmenes de aceites se encuentran principalmente en las regiones II, III y VIII, las cuales concentran la actividad minera y eléctrica.

Los PCBs en uso en equipos eléctricos se concentra en las regiones VIII y Metropolitana. El uso de estos equipos eléctricos debe prohibirse al año 2005, luego de lo cual se convertirán en residuos que deberán ser eliminados, una vez que cumplan su vida útil o se aproxime la fecha estipulada en el Convenio (año 2028).

[15] ECETOC (1996). Gobas, F.A.P.C. and D. Mackay (1987). Suedel, B.C., J.A. Boraczek, R.K. Peddicord, P.A. Clifford and T.M Dillon (1984). Thoman, R.V. (1989).

## 4.2. DETERMINACIÓN PRELIMINAR DE NIVELES AMBIENTALES DE PCBs

Paralelamente a la elaboración del catastro de fuentes de PCBs en el país, se desarrolló un **programa preliminar de muestreo** [43] en las regiones II, III, V, VII y XII, para determinar niveles de concentración de PCBs en diferentes matrices ambientales (bivalvos, hojas de pino, suelo) y en muestras de aceite dieléctrico de transformadores.

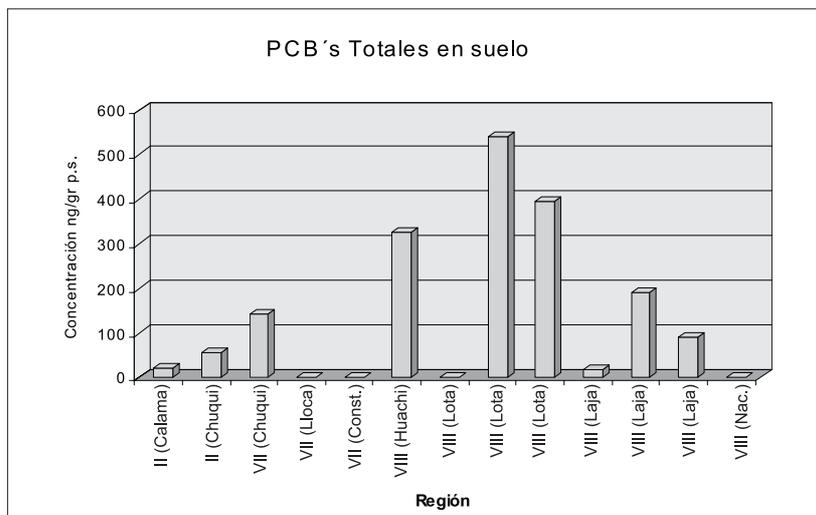
Las áreas de muestreo se seleccionaron según los siguientes criterios:

1. Uso de PCBs en diferentes actividades: industrial, almacenamiento, generación de energía, etc.
2. Cantidad de PCBs utilizados.
3. Magnitud de la actividad industrial.
4. Proximidad a centros urbanos.
5. Presencia de recursos naturales relevantes: pesquería, cultivos agrícolas, acuicultura, etc.
6. Accesibilidad.

Además, se incluyó un **estudio comparativo** entre investigaciones realizadas en el país sobre la presencia de PCBs en diversas matrices ambientales (hojas de pino, suelo, músculos y huevos de aves marinas, peces, moluscos bivalvos), con respecto a investigaciones extranjeras.

Las principales conclusiones de la determinación preliminar de PCBs en muestras ambientales, son:

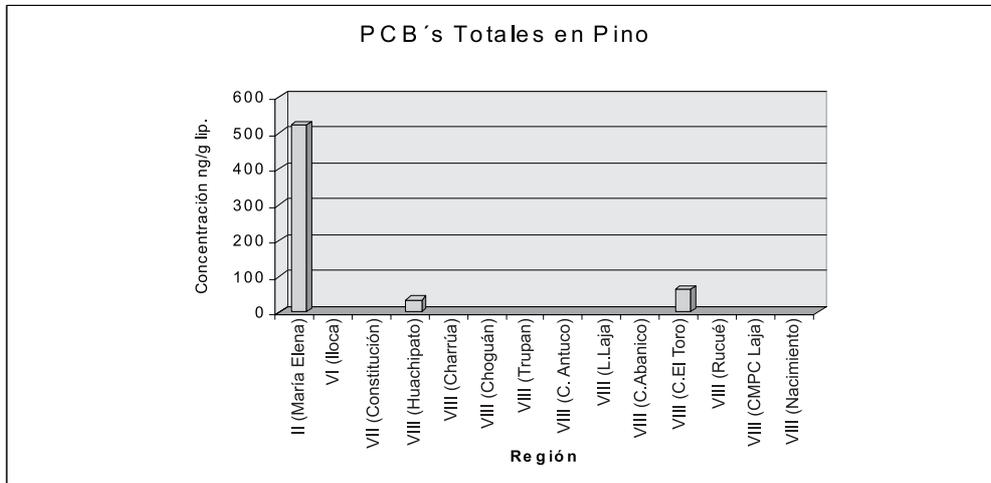
### Perfiles de PCBs totales en muestras de SUELO:



**Figura 4.4.** Distribución de la concentración de PCBs totales en suelo [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].

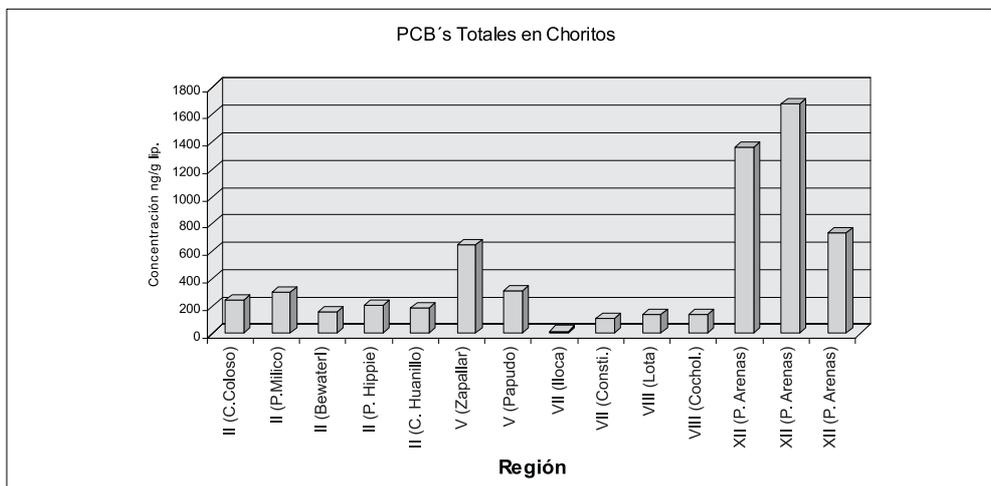
[43] CONAMA, Centro EULA-Chile, 2001.

**Perfiles de PCBs totales en muestras de VEGETACIÓN (hojas de pino; pinus radiata):**



**Figura 4.5.** Distribución de la concentración de PCBs totales en pino [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].

**Perfiles de PCBs totales en muestras de BIVALVOS (Choritos; Perumitylus purpuratus)**



**Figura 4.6.** Distribución de la concentración de PCBs totales en choritos [Ref. CONAMA, Centro EULA, 2001].

Los resultados de las **muestras ambientales preliminares** indican que existe contaminación por PCBs, lo cual concuerda con datos obtenidos de la literatura (Focardi et al, 1996; Muñoz y Becker, 1999), siendo éstos inferiores a los observados en países industrializados.

Las concentraciones más elevadas de **PCBs en muestras preliminares de vegetación**, se observaron en las regiones III y VIII, en particular en aquellas áreas vecinas a centros de almacenamiento de PCBs, con concentraciones en base lipídica de 34,4 ng/g, 54,24 ng/g y 523,7 ng/g. Destacan los niveles de acumulación de PCBs en vegetación, los cuales probablemente reflejan los niveles de PCBs en la atmósfera.

En cuanto a la concentración de **PCBs en muestras preliminares de moluscos bivalvos**, los valores encontrados no fueron elevados, con excepción de aquellas muestras colectadas en la V y XII regiones, Valparaíso y Punta Arenas; esta última con concentraciones entre 736,38 ng/g base lipídica y 1679,46 ng/g base lipídica y elevada presencia de los congéneres ligeros (volátiles) de PCBs, diclorados hasta pentaclorados, lo cual es similar a lo encontrado en el estudio realizado por el Mussel Watch Program.

Las **muestras de suelo** tomadas en zonas vecinas a áreas industriales y/o lugares de almacenamiento, presentaron contaminación por PCBs, al contrario de aquellas tomadas en zonas alejadas de estas fuentes. La presencia de PCBs en muestras de suelo reflejan la presencia de los congéneres con mayor grado de sustitución de cloro, que poseen mayor capacidad de persistencia, bioacumulación y lipofiliencia.

Si bien el número de muestras colectadas es pequeño, es posible señalar que existe contaminación **por PCBs en los distintos compartimentos ambientales** analizados, lo que demuestra que de alguna manera estas sustancias están circulando por nuestros ecosistemas, aun cuando las concentraciones detectadas indican un bajo nivel de contaminación.

### 4.3. PCBs EN AIRE DE LA REGIÓN METROPOLITANA

Durante el año 2001 se realizó el estudio "Caracterización de Bifenilos Policlorados e (PCBs) en Atmósfera Urbana de la Región Metropolitana de Chile" [44], con el propósito de complementar la estimación preliminar de niveles ambientales de PCBs, presentado en el punto anterior (5.1.) extendiendo las mediciones al medio atmosférico y de proponer un método analítico para la caracterización de PCBs, que genere datos de calidad (con aseguramiento y control de calidad, QA/QC) acerca de la presencia y posibles niveles de concentración de estos compuestos en la atmósfera, aplicando la técnica de cromatografía de gases de alta resolución acoplada a detector de masas (GC-MS-SIM), cuya selectividad y sensibilidad permiten con absoluta certeza detectar y cuantificar PCBs.

Los lugares de monitoreo establecidos fueron primeramente el sector de la comuna de La Reina tanto para la implementación como para la caracterización de las primeras muestras atmosféricas, las cuales fueron tomadas en duplicado (muestra/contramuestra). Luego de realizados los muestreos en La Reina, los equipos de monitoreo fueron trasladados a las estaciones de del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, SESMA, ubicadas en Parque O'Higgins y Los Cerrillos, para así culminar las mediciones exploratorias de PCBs en atmósfera urbana.

---

[44] CENMA, JICA (2001).

**Resultados**

Un resumen de los resultados que entrega el estudio, se detallan a continuación:

**Niveles de PCBs totales en sector de La Reina:**

**Tabla 4.4.** Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de La Reina Alta) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

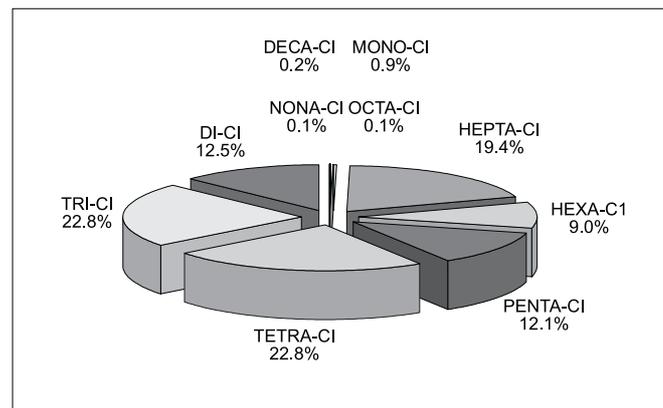
Muestreo		Fecha	PCBs *	Promedio PCBs*
M1	Muestra	15/06/01	1.39	1.36
	Duplicado		1.32	
M2	Muestra	20/06/01	1.09	1.08
	Duplicado		1.07	
M3	Muestra	26/06/01	1.56	1.54
	Duplicado		1.51	
M4	Muestra	29/06/01	1.60	1.74
	Duplicado		1.88	
M5	Muestra	03/07/01	**	1.48
	Duplicado		1.48	
Prom. PCBs totales*				1.44
Min.				1.08
Max.				1.74

\* Concentraciones expresadas en ng/m<sup>3</sup>

\*\* Muestra perdida durante el traslado al laboratorio

Como es posible apreciar en la Tabla anterior, los promedios de concentración obtenidos en La Reina fluctúan entre un 1.08 y 1.74 ng/m<sup>3</sup> (mínimo - máximo respectivamente).

Interesante es destacar el aporte de los distintos congéneres en la composición de los PCBs atmosféricos determinados en La Reina. Como se observa en la Figura 4.6., los porcentajes mayoritarios corresponden a los di- tri-, tetra- y hepta- cloro bifenilos.



**Figura 4.7.** Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de La Reina) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

**Niveles de PCBs totales en sector de Parque O'Higgins:**

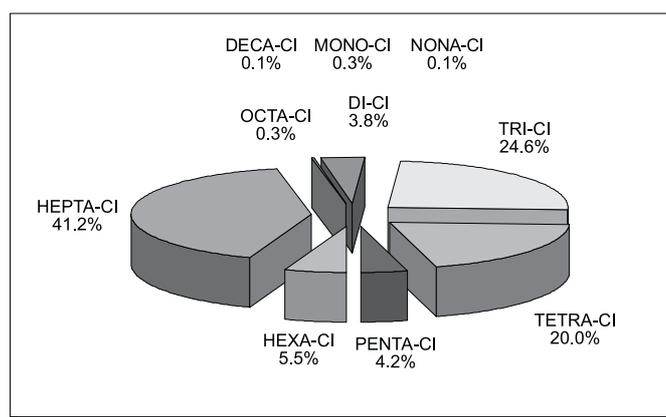
A continuación Tabla 4.5., presenta los resultados de las muestras caracterizadas en el sector céntrico de Santiago (Parque O'Higgins). Como se aprecia, los máximos sobrepasan ligeramente los niveles de concentración detectados en el sector de la Reina (1.74 ng/m3 vs 1.93 ng/m3).

**Tabla 4.5.** Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de Parque O'Higgins) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

Muestra	Fecha	G 1 / G 2 PCBs	Suma <sup>*</sup> PCBs
P.O.1	5/11/01	0.13 0.74	0.87
P.O.2	6/11/01	0.09 0.69	0.78
P.O.3	7/11/01	0.14 1.05	1.19
P.O.4	9/11/01	0.29 1.65	1.93
P.O.5	12/11/01	0.10 0.45	0.55
Promedio			1.06
Min			0.55
Max			1.93

<sup>\*</sup> PCBs expresados como suma total de congéneres, ng/m<sup>3</sup>

Sin embargo, como se observa a continuación en la Figura 4.7., se mantiene al mismo perfil de contribuciones de congéneres de PCBs anterior captado en La Reina, siendo los tri-, tetra- y hepta los mayoritarios. No obstante, en el sector céntrico de Santiago, la contribución mayoritaria correspondiente a los heptaclorobifenilos policlorados, dobla en magnitud a los hepta colectados en La Reina (41.2 vs 19.4 %).



**Figura 4.8.** Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de Parque O'Higgins) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

**Niveles de PCBs totales en sector de Los Cerrillos:**

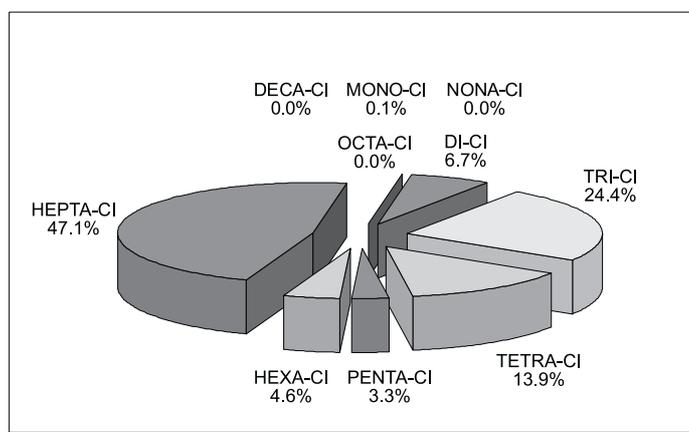
Por otra parte los datos de PCBs obtenidos en el sector de Los Cerrillos, Tabla 4.6., resultan ser los más bajos de las tres estaciones monitoreadas, no superando los 0.79 ng/m<sup>3</sup> (concentración máxima detectada).

**Tabla 4.6.** Niveles de concentración atmosférica de PCBs totales detectados en la ciudad de Santiago, Chile (sector de Los Cerrillos) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

Muestra	Fecha	G1 / G2 PCBs	Suma PCBs*
CE 1	7/ 11/ 01	0. 10 0. 45	0. 55
CE 2	13/ 11/ 01	0. 10 0. 45	0. 54
CE 3	14/ 11/ 01	0. 08 0. 71	0. 79
<b>Pr o m e d i o</b>			<b>0. 63</b>
<b>Mi n</b>			<b>0. 54</b>
<b>Max</b>			<b>0. 79</b>

\* PCBs expresados como suma total de congéneres, ng/m<sup>3</sup>.

Respecto del perfil de estos PCBs, como se aprecia en la Figura 9, mantienen bastante similitud con de Parque O'Higgins, de manera que podríamos asumir la existencia de fuentes de origen comunes para estos congéneres.



**Figura 4.9.** Contribución porcentual de las familias de isómeros (mono-cloro a deca-cloro) de PCBs en la atmósfera urbana (sector de Los Cerrillos) [Ref. CENMA, JICA, 2001].

Finalmente, los resultados de niveles de concentración obtenidos en el presente estudio son contrastados con mediciones atmosféricas realizadas en otras ciudades similares a Santiago (Tabla 4.7.).

**Tabla 4.7.** Niveles de concentración atmosférica de PCBs en distintos centros urbanos [Ref. CENMA, JICA, 2001].

Lugar	Nivel de concentración**
Denver CO, USA	2.2
Kobe, Japan	0.16 - 1.5
Stockholm, Sweden	0.06 - 0.7
Ulm, Germany	0.35 - 2.6
Hambourg, Germany	4.2
London, Manchester, UK	0.2 - 3.5*
Bombay, Calcuta, India	0.5 - 4.5
Tainan city, Taiwan	2.6 - 7.1
Paris, 1986 University campus)	5.0 - 19.0
Paris, 1990 University campus)	2.0 - 6.0
Santiago, Chile	1.08 - 1.74

\* Suma de sólo 8 congéneres, aprox. un tercio del total.

\*\* Concentraciones expresadas en ng/m<sup>3</sup>.

Como se puede observar en la Tabla anterior, los valores detectados en Santiago, estarían dentro del rango de los valores reportados en la literatura, con la excepción de Estocolmo que exhibe niveles considerablemente más bajos que el resto de las ciudades reportadas.

Por otra parte, con relación a la composición de las posibles fuentes de PCBs en la Región Metropolitana, la mezcla comercial más cercana con el perfil de PCBs caracterizados en la Reina sería la mezcla de Aroclor 1242 (con 31 y 45% Tri- y Tetra-CBs).

Sin embargo, para el caso de Parque O'Higgins y Los Cerrillos la comparación anterior no resulta ser tan cercana, por cuanto se aprecia una sensible contribución de los hepta-CBs, especialmente en el caso de Los Cerrillos donde éstos superan el doble (en proporción) de los hepta-CBs detectados en La Reina (47.1 vs 19.4).

### Conclusiones:

Los niveles de concentración detectados en La Reina, corresponden a mediciones realizadas durante el invierno y se ubican en un rango de concentración de 1.08 – 1.74 ng/m<sup>3</sup>. Dichas mediciones estarían indicando una eventual cota superior de concentración en esta zona, debido a las condiciones particulares de poca ventilación y dispersión de contaminantes en la cuenca que se registran durante el período invernal. Lo cual estaría de acuerdo con los resultados de un estudio preliminar de prueba realizado por CENMA donde las concentraciones determinadas para dicho lugar en verano disminuirían a un rango de concentración entre de 0.90 – 1.05 ng/m<sup>3</sup>.

Por otra parte se aprecia una mayor contribución de los congéneres di-, tri-, tetra- y penta-cloro Bifenilos en el sector de La Reina, con relación a los mismos congéneres encontrados en el sector de Los Cerrillos y Parque O'Higgins. De acuerdo al catastro de fuentes, los sitios donde se realizan actividades potencialmente emisoras de PCBs como reparación de transformadores eléctricos sería el sector de estación Central, esto podría indicar una posible influencia del transporte (atmosférico) en las concentraciones determinadas en La Reina, mostrando PCBs con baja sustitución halógena (los más volátiles). Sin embargo, debido al pequeño universo de mediciones, resulta difícil establecer conclusiones definitivas respecto del nivel de concentración ambiental de PCBs existente en la atmósfera metropolitana. Dicho universo no permite establecer una estacionalidad ni tampoco una temporalidad para los PCBs en la región, sino principalmente destacar la clara presencia de estos contaminantes en la atmósfera urbana.

#### 4.4. OTROS ESTUDIOS SOBRE PCBs

Entre otros estudios sobre presencia de PCBs en diferentes matrices en Chile, se destacan [Refs. CONAMA, Centro EULA-Chile, 2001; CONAMA, CENMA, 2001]:

- Muñoz, J and Becker, P. (1996). The Kelp Gull as Bioindicator of Environmental Chemicals in the Magellan Region. A comparison with other coastal sites in Chile. *Sci. Marina* 63 (suppl1) 495-502.

Se orienta a comparar los niveles de PCBs en huevos de aves considerando que las aves se encuentran en el vértice de la cadena trófica y por lo tanto presentan un elevado potencial de biomagnificación. Se comparan los niveles de algunos congéneres de PCBs en áreas con distinto impacto antrópico. Los huevos se presentan en este sentido como excelentes indicadores de la contaminación por este tipo de compuestos debido a su elevado contenido en grasas y por lo tanto, elevado potencial de bioacumulación de sustancias lipofílicas.

- Fuentealba, M. (1996). Pesticidas Organoclorados y Bifenilos Policlorados en *Trachurus murphyi* en la Zona Centro Sur de Chile. *Bol Soc. Biol. Concepción* 68:39-46.

Se orientó a verificar si operaban cambios en los niveles de PCBs en tres especies de peces de amplia distribución en Chile central, pero ubicados en niveles tróficos ligeramente diversos, además debido a que corresponden a especies de consumo humano, se quiso verificar si existían niveles de PCBs que sobrepasaran los niveles impuestos a nivel internacional por la FAO.

- El Laboratorio de Química del Centro Eula-chile, en un trabajo en conjunto con Dr. P. Becker, se analizó contenido de PCBs en huevos de tres especies de aves marinas (*Larus patagonicus* (gaviota austral), *Larus dominicanus* (gaviota común) y *Phalacrocorax olivaceus* (cormorán)) de tres localidades, Isla Quiriquina, (Concepción), Río Angachilla y Río Cruces (Valdivia). Focardi et al. (1996) también en conjunto con el Centro EULA estudió aves y peces en la cuenca y desembocadura del Río Biobío, con el objetivo de verificar la existencia de gradientes de contaminación por PCBs y otros compuestos organoclorados a lo largo del curso principal del Río Biobío.
- International Mussel Watch, 1995. Initial implementation phase. Final report. Farrington, J. W. & B.W. Tripp, Eds. Woods Hole, Massachusetts. 63 pp.

Dentro del proyecto internacional Mussel Watch Program, para la medición de distintos contaminantes en áreas costeras, se realizó un estudio sobre niveles de PCBs en bivalvos de diferentes regiones de Chile, abarcando desde Arica hasta Punta Arenas. Este muestreo se realizó el año 1991.

- Contaminación de leche materna, tejido adiposo de mujeres y leche de vaca por plaguicidas de alto poder residual; I. Triviño; Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile; Boletín del Instituto de Salud Pública de Chile – Vol XXIII, Nrs 1 y 2, 1982.

Se determinaron niveles de concentración de DDT en leche materna tejido humano adiposo y leche de vaca. Asimismo, se determinó la presencia de isómeros de PCBs y Hexaclorociclohexanos, los que fueron identificados sólo cualitativamente.

# CAPÍTULO 5 Instrumentos de gestión

## 5.1. IMPORTACIÓN

Según lo establecido en el artículo 90 del Código Sanitario, las sustancias tóxicas y productos peligrosos no pueden ser importados al país sin la autorización de los Servicios de Salud. De acuerdo a lo anterior, existe un listado que determina cuales sustancias son consideradas peligrosas, entre las que se encuentran los PCBs. Complementario a este artículo del Código y la lista, existe la Ley N° 18.164 y la Circular del Ministerio de Salud N° 2C/152 del año 1982. Este conjunto de normativas establece el procedimiento a seguir para la importación de sustancias peligrosas al país.

**Todo lo anterior implica el siguiente procedimiento:**

1. Una vez que llega al país alguna sustancia considerada como peligrosa, la Aduana correspondiente solicita al interesado una autorización del Servicio de Salud correspondiente, para poder retirar las mercancías desde los recintos aduaneros.
2. Para solicitar la autorización mencionada en el punto anterior, se debe completar el Formulario de Destinación Aduanera en el Servicio de Salud, quien tiene 3 días hábiles para otorgar o rechazar la solicitud.
3. Una vez otorgada esta autorización, el interesado puede retirar la mercancía de la Aduana, para llevarla a una bodega debidamente autorizada; sin embargo, no puede hacer uso de ella, ya que esta autorización se otorga sólo con el fin de no acumular las mercancías en los recintos aduaneros.
4. Una vez que el producto importado se encuentra en la bodega, se debe solicitar la autorización de importación en el Servicio de Salud correspondiente, la cual debe ser otorgada en 3 días hábiles y se emite mediante una Resolución del Servicio que faculta al interesado para hacer uso de su producto. En el caso de que el Servicio de Salud decida someter el producto a un periodo de cuarentena para tomar muestras y hacer análisis del mismo, el plazo antes mencionado no es aplicable.
5. El Servicio de Salud, de acuerdo a los procedimientos que establezca y la capacidad que tenga, inspeccionará la bodega para verificar que todo el producto se encuentre en ella y que se encuentra adecuadamente almacenado, etiquetado y envasado, entre otras cosas, antes de otorgar la autorización de importación.

Es importante señalar que el 30 de Noviembre del año 2001, los Servicios de Salud emitieron mediante Resolución el nuevo listado de sustancias peligrosas que requieren autorización para su importación al país, entre las que se encuentran los PCBs.

El procedimiento antes comentado está totalmente implementado para el caso de sustancias químicas puras o mezclas; sin embargo, para el caso de productos peligrosos todavía no existe una definición clara a este respecto, por lo tanto, cada Servicio de Salud determina qué productos deben contar con autorización para su ingreso al país. Lo anterior, respaldado en las facultades que les otorga el Código Sanitario.

## 5.2. EXPORTACIÓN

Para la exportación de Bifenilos Policlorados, siempre que NO sean considerados como residuos, esto es como **materias primas puras, mezclas o contenidas en otra mercancía** (tintas, condensadores, etc.), éstas no requieren de autorización sanitaria.

## 5.3. EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS - CONVENIO DE BASILEA

El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, fue suscrito por Chile en el año 1990, aprobado por el Congreso Nacional en 1992 y promulgado como ley de la República, mediante Decreto Supremo N° 685, del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado en el Diario Oficial el 13 de Octubre de 1992.

Este Convenio surgió como respuesta a la inquietud de los Estados por la creciente transferencia de residuos peligrosos desde países industrializados hacia países en desarrollo. Conscientes de los riesgos asociados al manejo inapropiado de estos residuos, los países decidieron proteger, mediante mecanismos regulados de control, la salud humana y la calidad del medio ambiente contra los efectos nocivos que pudieran derivarse del transporte transfronterizo de estos residuos.

El Convenio de Basilea describe nuevas formas, reglas y procedimientos de manejo legal para los movimientos transfronterizos de los residuos peligrosos. En este contexto, este instrumento representa la intención de la comunidad internacional de resolver este problema ambiental de manera colectiva.

Algunos de los elementos claves del sistema regulatorio del Convenio de Basilea son: el consentimiento fundamentado previo, la prohibición de exportación o importación con países que no sean Partes del Convenio y las medidas legales para obligar a reimportar los desechos peligrosos cuando corresponda y responsabilizar a los Estados involucrados en cada movimiento transfronterizo. En forma general, los objetivos del Convenio de Basilea son los siguientes:

- a) Reducir los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos a un mínimo consistente con su manejo ambientalmente racional.
- b) Tratar y disponer los desechos peligrosos lo más cerca posible a su fuente de generación de una manera ambientalmente racional.
- c) Minimizar la generación de desechos en términos de cantidad y peligro potencial.

### 5.3.1. EXPORTACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

En relación con la implementación del Convenio de Basilea, el procedimiento establecido consiste en los siguientes pasos:

- a) Comprobar que los desechos estén bajo el marco de aplicación del Convenio, es decir, que pertenezcan a alguna de la categorías o tengan alguno de los constituyentes del Anexo I y posean alguna de las características de peligrosidad del Anexo III.

- a) Si los desechos entran bajo el régimen de Basilea, en el caso de **regiones**, el interesado debe presentar los antecedentes necesarios al Servicio de Salud correspondiente para que éste tramite ante la Autoridad Competente Nacional del Convenio de Basilea, en nuestro caso el Subsecretario de Salud, las autorizaciones previas que dicho Convenio establece de parte del país receptor de los residuos y de parte de los países de tránsito. En cualquier caso, el interesado no puede realizar la exportación hasta no obtener el consentimiento, por parte de la Autoridad Competente del país que recibirá los residuos. En el caso de la **Región Metropolitana** los trámites se realizan directamente en el Ministerio de Salud, por lo que más adelante se detallará sólo la situación a través de los Servicios de Salud, en todo caso el trámite en la Región Metropolitana también debe ser informado al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente a fin que ellos otorguen las autorizaciones internas que correspondan.
- b) El interesado debe solicitar al Servicio de Salud correspondiente, el formulario **“Notificación de Movimientos Transfronterizos”** <sup>[45]</sup> el objetivo de este Formulario es proveer información detallada sobre el movimiento y las partes que intervienen y otorgar información sobre los desechos y las operaciones de eliminación a la que están destinados (anexos IVA y IVB del Convenio). El formulario debe ser llenado y devuelto al Servicio, el que, después de comprobar que la información proporcionada sea la correcta debe enviarlo al Ministerio de Salud (División de Salud Ambiental), de manera que sea canalizado a la Autoridad Competente del país importador a fin de que ésta de su consentimiento para iniciar el movimiento. Si la respuesta es positiva, el Ministerio de Salud informa al Servicio de Salud remitente, para que éste a su vez informe al interesado.
- c) Cuando ya se cuenta con las autorizaciones del país de importación y de los países de tránsito, el interesado debe completar un segundo Formulario denominado **“Documento sobre el Movimiento”** <sup>[46]</sup>. Este formulario también debe ser enviado al Ministerio con el objeto que el Subsecretario de Salud, como Autoridad Competente de Chile ante el Convenio, lo firme y de el visto bueno para iniciar la exportación. El formulario es devuelto al Servicio de Salud respectivo y debe ser entregado al interesado, quien debe asegurarse que este documento acompañe al embarque como prueba de las autorizaciones otorgadas. Una vez terminado este último trámite, la exportación puede ser efectuada por el puerto o punto de salida del país señalado en los formularios antes mencionados.

### 5.3.2. IMPORTACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

- a. Cualquier importación debe contar con la autorización expresa de la autoridad competente.
- b. La política de salud es de prohibición de ingreso, bajo cualquier fin.
- c. Existe un proyecto de ley que prohíbe el ingreso de residuos peligrosos.

### 5.4. PROHIBICIÓN AL USO - NORMATIVA SEC

En el ámbito de su competencia, la Superintendencia de Servicios Eléctricos y de Gas (ahora Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC) mediante la Resolución Exenta N° 610, de fecha 3 de Septiembre de 1982, prohibió el uso de los PCBs, conocidos comercialmente como askareles, como fluido dieléctrico en transformadores, condensadores y cualquier otro equipo eléctrico. Esto, en razón de que el uso de dichas sustancias resulta peligroso para las personas.

---

[45] El Formulario "Notificación de Movimientos Transfronterizos", se encuentra en el Anexo D de este Manual.

[46] El Formulario "Documento sobre el Movimiento", se encuentra en el Anexo D de este Manual.].

Sin embargo, considerando la existencia de equipos eléctricos en operación que usan PCBs como fluido dieléctrico, se estableció que dichos equipos podían continuar con esta sustancia contaminante hasta que fuera necesario su drenaje.

Por otra parte, atendida las dificultades para la eliminación de dicha sustancia, se estableció que las reservas de PCBs, como asimismo los residuos provenientes de los equipos eléctricos en operación, debían ser adecuadamente almacenados con el objeto de evitar la contaminación del medio ambiente, responsabilizándose a los usuarios de dichas sustancias de que ello no ocurra.

La fiscalización del cumplimiento de mencionada Resolución por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles se ha restringido a recabar de las empresas eléctricas informes que dan cuenta de la cantidad de sustancias contaminante en uso en equipos en operación y de la cantidad almacenada y/o eliminada sin corroborar en terreno la información entregada por las empresas.

## 5.5. REGLAMENTO SANITARIO SOBRE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, Decreto Supremo N° 148/2003 del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial el 16 de Junio de 2004, establece las condiciones sanitarias de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos. Para efectos del Reglamento, se considera “Residuo Peligroso”: “Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11”.

En lo concerniente a los PCBs, el Reglamento los clasifica como peligrosos, incluyéndolos en los listados de Categorías de Residuos Peligrosos (artículo 18) así como en los siguientes Listados de Residuos Peligrosos (artículo 90):

- Los PCBs son considerados peligrosos por estar incluidos la Lista de Categorías de Residuos Peligrosos I, del artículo 18, en la Categoría I.10 “Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB)”.
- Además, los PCBs están incluidos en la Lista A “Residuos Peligrosos”, en la clasificación A1180: “Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o chatarras de éstos que contengan componentes como baterías incluidas en la presente Lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitores de PCB, o contaminados con constituyentes de la Lista II del artículo 18 (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en concentraciones tales que hagan que el residuo presente alguna característica de peligrosidad (véase la entrada correspondiente B1110 en la Lista B del presente Artículo)”.
- También están clasificados como A3180: “Residuos, sustancias y artículos que contienen, consisten o están contaminados con bifenilo policlorado (PCB), terfenilo policlorado (PCT), naftaleno policlorado (PCN) o bifenilo polibromado (PBB), o cualquier otro compuesto polibromado análogo, con una concentración de igual o superior a 50 mg/kg”.

- Y como B1110, sobre “Montajes eléctricos y electrónicos: Residuos o chatarra de montajes eléctricos o electrónicos(13) (incluidos los circuitos impresos) que no contengan componentes tales como baterías incluidas en la Lista A del presente Artículo, interruptores de mercurio, vidrio procedente de tubos de rayos catódicos u otros vidrios activados ni condensadores de PCB, o no estén contaminados con sustancias de la Lista II del artículo 18 (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) o de los que esos componentes se hayan extraído hasta el punto de que no muestren ninguna característica de peligrosidad (vase el apartado A1180 de la Lista A del presente Artículo)”.

Sin perjuicio de que, tal como ya se ha señalado, los residuos que contienen PCBs son considerados como peligrosos, todo propietario o tenedor de éstos residuos puede demostrar ante la Autoridad Sanitaria que éstos no presentan ninguna característica de peligrosidad. Dichas características se definen en los artículos 11 al 17 y corresponden a toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, inflamabilidad, reactividad y corrosividad, respectivamente.

En relación al almacenamiento de estos residuos, se debe señalar que éste se debe realizar en un recinto autorizado por la respectiva Autoridad Sanitaria, conforme a los requerimientos mínimos establecidos en el Título IV (“Del Almacenamiento”) del Reglamento. Además, se establece que los residuos peligrosos no deben ser almacenados por períodos superiores a 6 meses, debiendo el generador o tenedor de los residuos, cumplido dicho plazo, enviarlos a través de un transportista autorizado, a una Instalación de Eliminación de Residuos Peligrosos, autorizada de acuerdo al Título VI (“De la Eliminación”) del Reglamento.

Por su parte, tomando en cuenta que en Chile es posible que no se establezcan Instalaciones de Eliminación de Residuos Peligrosos capaces de destruir PCBs, como por ejemplo Incineradores específicos para estos fines, el Reglamento permite la creación de instalaciones de almacenamiento por períodos prolongados para este tipo de residuos (artículo 32), las que deberán cumplir con los requerimientos establecidos para las Instalaciones de Eliminación de Residuos Peligrosos señaladas en el Título VI, Párrafo I (“De las Instalaciones de Eliminación”).

En relación a su eliminación, el Reglamento señala que la Autoridad Sanitaria puede establecer condiciones específicas para su incineración. Por otra parte, se debe señalar que los PCBs no pueden ser eliminados en rellenos de seguridad (artículo 60, letra h), así como tampoco al interior de minas subterráneas (artículo 77, letra h).

## 5.6. REQUERIMIENTOS DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO SOBRE LOS PCBs.

Tal como se ha mencionado anteriormente, Chile firmó el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), cuyos aspectos principales se encuentra detallados en el Anexo B y el texto completo se puede bajar de Internet desde la página Web que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, ha dispuesto para este Convenio:

<http://www.chem.unep.ch/pops/> y/o <http://www.pops.int>, y específicamente en [http://www.pops.int/documents/convtext/convexts\\_sp.pdf](http://www.pops.int/documents/convtext/convexts_sp.pdf)

Teniendo en vista la futura ratificación e implementación en Chile de este instrumento internacional jurídicamente vinculante, CONAMA solicitó al Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) la elaboración del estudio “Levantamiento de Información para la Implementación del Convenio sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)”<sup>[47]</sup>, el cual entre otros temas, analiza las obligaciones a las que Chile se verá enfrentado una vez que el Convenio entre en vigor, destacándose en este caso las correspondientes a los PCBs, las que se transcriben a continuación, bajo el requerimiento de “Manejo ambientalmente adecuado de PCBs”.

### 5.6.1. MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE PCBs

#### Antecedentes generales.

El Convenio de Estocolmo, en vigencia desde el 17 de Mayo de 2004, establece que con respecto al manejo ambientalmente adecuado de Bifenilos Policlorados contenidos en equipos (e.g. transformadores, condensadores u otros receptáculos que contengan existencias de líquidos residuales), el país deberá dentro de un plazo de tiempo establecido, adoptar y/o implementar las medidas necesarias para la eliminación de su uso a más tardar el año 2025. En cuanto a la gestión ambientalmente racional de los residuos de los líquidos que contengan PCBs y de los equipos contaminados con un contenido superior al 0,005%, establece como plazo máximo el año 2028. Asimismo el Convenio establece que el país, de acuerdo a las prioridades establecidas, deberá promover las medidas adecuadas para la reducción de la exposición y el riesgo; así como también velar por que no existan importaciones y exportaciones de estos equipos, salvo para fines de gestión ambientalmente racional.

#### A. Prioridades de eliminación de PCBs.

El Convenio ha establecido el siguiente esquema priorizado de manejo de las existencias de PCBs:

1. Identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga mas de 10% de PCBs y volumen superior a 5 litros.
2. Identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga mas de 0,05% de PCBs y volumen superior a 5 litros.
3. Identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga mas de 0,005% de PCBs y volumen superior a 0,05 litros.

#### Acciones:

- De acuerdo a la información recabada, una fuente de información que puede ser utilizada en primera instancia para identificar la existencia de equipos con contenidos de PCBs, son los Catastro de Fuentes realizados por CONAMA, y si es necesario, dicha información tendría que ser ampliada y/o complementada con información sectorial adicional.
- Para etiquetar, se debería contar con la colaboración de las instituciones con competencia fiscalizadora.
- Para retirar de uso, se debería contar con una normativa que posibilite esta acción así como las necesarias para llevar a cabo las dos acciones mencionadas anteriormente, y contar con la colaboración de las instituciones con competencia fiscalizadora. Las opciones planteadas son las siguientes:

---

[47] CONAMA, CENMA (2001).

**Opción A:** En forma vinculante, mediante la elaboración de la correspondiente normativa, cuyo origen debería encontrarse en el Ministerio de Salud, en el sentido de abordar integralmente la regulación de PCBs para todas sus finalidades, mejorando el marco regulatorio actual que otorga la Resolución N° 610/82 de la SEG. Esto es sin perjuicio de las facultades que tiene la SEC de conformidad con la citada Resolución.

**Opción B:** En forma voluntaria, mediante acuerdos de producción limpia, difusión pública, participación ciudadana, sensibilización y educación.

Esta última opción necesita ser realizada, por cuanto el Convenio mismo asigna una gran importancia a los aspectos relativos a la difusión pública, la participación ciudadana, la sensibilización y la educación, como elementos que posibilitan una mejor implementación del Convenio por las Partes.

**B. Medidas de reducción de la exposición y el riesgo para controlar uso de PCBs:**

- Uso de equipos intactos y estancos en zona con riesgo de liberación mínimo
- Eliminación del uso de equipos en zonas de producción o elaboración de alimentos (humanos y animales)
- Cuando se utilicen en zonas densamente pobladas (escuelas, hospitales), adoptar todas las medidas razonables de protección contra cortes de electricidad.

**Acciones:**

- Dictar normativa para restringir el uso, en consonancia de lo señalado precedentemente.
- Incorporar instituciones ligadas al manejo de emergencias (Bomberos, Carabineros, RITA <sup>[48]</sup>, CONAMA, Servicios de Salud)
- Desarrollar educación y difusión, particularmente en lo relativo al uso de dichos equipos en sectores densamente poblados, escuelas u hospitales (participación ciudadana en la vigilancia ambiental).

**C. Velar por que la exportación e importación de equipos con PCBs sea solo para fines de gestión ambientalmente racional de residuos**

- Potenciar las atribuciones y funciones del Punto Focal (nacional) del Convenio de Basilea (principalmente en lo relativo a las exportaciones)
- Elaboración de normativa que prohíba todo uso, exportación y/o importación de productos que contengan PCBs.

**D. Velar por la no recuperación y/o reutilización de equipos con líquidos con concentración de PCBs superior a 0.005%**

Posiblemente esto sea factible a través de la implementación de una Resolución específica sobre la materia.

---

[48] Red de Información Toxicológica y Alerta del Ministerio de Salud, RITA-MINSAL.

**E. Velar por una gestión ambientalmente racional de desechos de los líquidos que contengan PCBs y equipos contaminados con PCBs con mas de 0.005%**

**F. Identificar otros artículos que contengan mas de 0.005% de PCBs (ejemplo, revestimiento de cables, calafateado, curado y objetos pintados) y gestionarlos de acuerdo a una gestión ambientalmente racional de residuos.**

En este aspecto debe ser reforzada la acción de Aduanas, en las glosas del Código Aduanero que correspondan a este tipo de productos, de modo de poder contar con la ficha técnica, de tal forma que sea viable exigirle al importador / exportador la ficha técnica del producto a fin de asegurarse que éste no contenga PCBs.

Asimismo, en caso de duda o simplemente en caso que sea necesario, parece conveniente reforzar la acción de los Servicios de Salud en:

- La identificación de estos compuestos en los productos ingresados; y
- La acción de los laboratorios del Servicio Nacional de Aduanas.

Para los equipos que estén en uso, se debe reforzar la acción fiscalizadora de los Servicios de Salud para mantener un control de registro acerca del uso de PCBs.

Aduana en conjunto con Salud debería exigir dicha ficha técnica del producto, así como información bibliográfica de los contenidos y/o componentes de pinturas y adhesivos.

**G. Preparar un informe cada 5 años**

A cargo del Punto Focal (Comisión Nacional del Medio Ambiente)

**H. Examen de los informes a cargo de la Conferencia de las Partes.**

Labor correspondiente a la Conferencia de las Partes.

# CAPÍTULO 6 Manejo de PCBs

## 6.1. ALMACENAMIENTO

Una vez que los equipos que contienen PCBs, ya sean transformadores o condensadores, son dados de baja por distintos motivos, es necesario almacenarlos para su futura eliminación en lugares autorizados para ello. Junto con los equipos anteriormente mencionados se pueden encontrar tambores que contengan PCBs, ropa, botas y guantes contaminados con PCBs, los cuales pasan a constituir residuos peligrosos, por lo cual se deben tomar medidas de seguridad en el manejo, transporte, almacenamiento y eliminación final de estos residuos.

Es importante mencionar que estas recomendaciones se realizan siempre teniendo presente que el lugar de almacenamiento de estos residuos peligrosos, será transitorio, debido a que estos residuos deben ser tratados y eliminados fuera del país, ya que no existe la tecnología necesaria para realizar este proceso en Chile.

### 6.1.1 INSTALACIONES ESPECIALES PARA EL ALMACENAMIENTO DE PCBs

Las instalaciones de para el almacenamiento de este tipo de residuos deben contar con los siguientes **permisos o autorizaciones**.

#### 1. **Calificación Ambiental otorgado por COREMA o la CONAMA, según corresponda.**

Deberá evaluar ambientalmente dicho almacenamiento de acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado mediante Decreto Supremo N° 30 de 1997, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

#### 2. **Certificado de Calificación otorgado por Servicio de Salud respectivo.**

Esta obligación se deriva de lo establecido en los artículos 4.14.2. y siguientes de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, la cual dispone que los establecimiento industriales y de bodegaje serán calificados caso a caso por el Servicio de Salud del Ambiente respectivo, en consideración a los riesgos que su funcionamiento pueda causar a sus trabajadores, vecindario y comunidad; para estos efectos, se calificarán como peligroso, insalubre o contaminante, molesto e inofensivo.

De esta calificación dependerá que la localización que se pretende emplazar el lugar de almacenamiento, se encuentre acorde con el Plan Regulador correspondiente, lo cual es un trámite indispensable para los efectos del Permiso de Edificación que otorga la municipalidad.

#### 3. **Permisos Municipales.**

El principio general se encuentra contemplado en el Artículo 116, de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, el cual indica que la construcción, reconstrucción, reparación,

alteración, ampliación de edificios <sup>[49]</sup> y obras de urbanización <sup>[50]</sup>, sean urbanos o rurales, requerirán el permiso de la Dirección de Obras Municipales.

Este permiso es concedido por el Director de Obras cuando los antecedentes que se les acompañen cumplan con el Plan Regulador, la Ley General de Urbanismo y Construcciones y su Ordenanza. Respecto de este último cuerpo normativo, se deberá dar el cumplimiento especialmente a lo establecido en el Título 4º Capítulo 14 “Establecimiento Industriales o de Bodegaje”.

Lo anterior se entiende sin perjuicio del pago de la patente municipal u otros permisos que corresponda solicitar de acuerdo a la legislación vigente.

#### **4. Autorización Sanitaria Expresa otorgada por el Servicio de Salud respectivo.**

Este corresponde al permiso establecido en el artículo 80 del Código Sanitario, el cual dispone que le corresponde a los Servicio de Salud autorizar la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquiera clase.

Al otorgar esta autorización, el Servicio de Salud respectivo determinará las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas.

#### **5. Permiso para la instalación, ampliación o traslado de industrias, a que se refiere el artículo 83 del Código Sanitario.**

Este permiso también lo otorga el Servicio de Salud. Para evacuar dicho informe, la autoridad sanitaria tomará en cuenta los planos reguladores comunales o intercomunales y los riesgos que el funcionamiento de la industria pueda causar a sus trabajadores, al vecindario y a la comunidad.

La autoridad sanitaria informará favorablemente una determinada actividad industrial o comercial, siempre que la evaluación sanitaria ambiental que se realice para evacuar el informe, determine que técnicamente se han controlado todos los riesgos asociados a su funcionamiento.

#### **6. Cambio de Uso de Suelo**

En el evento que se pretenda instalar una edificación para almacenar PCBs, en área no regulada, esto es, donde no exista un Plan Regulador vigente, deberá solicitar la autorización a la SEREMI de Vivienda y Urbanismo y de Agricultura el cambio de uso de suelo, de acuerdo a lo señalado en el artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

---

[49]: Conforme la define la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, edificio es toda construcción destinada a la habitación o en la cual una o más personas puedan desarrollar cualquiera labor, transitoria o permanente.

[50]: Conforme lo define la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones urbanizar es dotar a una superficie territorial que experimenta crecimiento urbano por extensión o por densificación, de infraestructura vial, sanitaria y energética, con sus obras de alimentación y desagües; de plantaciones y obras de ornato; obras de defensa y servicio del terreno; equipamiento y áreas verdes, proporcionales a las densidades fijadas por instrumento de planificación territorial.

Cabe señalar que en el caso de los permisos señalados en los puntos 4, 5 y 6, tienen el carácter de Ambiental, ya que se encuentran reconocidos en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Por tanto, su otorgamiento dependerá del resultado de la Evaluación Ambiental realizada a través de la COREMA o la CONAMA según corresponda. En el caso que el proyecto sea calificado ambientalmente favorable, los organismos estarán obligados a otorgarlos. En caso contrario, deberán obligatoriamente rechazarlos.

Todos estos permisos o autorizaciones, deberán ser otorgados antes de la construcción y/o entrada en funcionamiento de la bodega.

Sin perjuicio de los requerimientos legales, para el almacenamiento de los PCBs, hay que tener presente:

1. La bodega para almacenar este tipo de residuos dentro del predio industrial, debe situarse en un lugar alejado de las áreas de fabricación y de otras áreas donde se lleven a cabo actividades de rutina, con un mínimo de 3 metros, y deberá cerrarse en forma segura. Solamente podrá tener acceso a este recinto personal responsable y capacitado en el manejo de PCBs.
2. La bodega de almacenamiento de PCBs deberá contar con instalaciones de recolección para posibles derrames. Estas instalaciones deben tener un sistema de canaleta con pendiente a un pozo ciego, el cual debe tener una capacidad del 120 % de la totalidad de la capacidad en volumen de la bodega.
3. En caso de cualquier derrame accidental, se deben tomar precauciones para bloquear cualquier tubería que pudiera permitir el paso de PCBs al drenaje de aguas lluvia. El piso debe tener una superficie sellada que permita limpiarlo fácilmente.
4. No se deben almacenar líquidos combustibles dentro de un perímetro de 10 metros a la redonda de la bodega de PCBs. Los tambores no deben estar estibados, ya que pueden caerse y deben asegurarse bien para evitar riesgo, como por ejemplo movimientos telúricos.
5. Todos los materiales que se encuentren en la bodega deberán estar etiquetados claramente. Se debe colocar un letrero de advertencia donde bomberos puedan leerlo fácilmente, indicando donde se guarda la ropa de protección, trajes de PVC, guantes no porosos de preferencia de silicona y botas de goma, lentes o pantallas protectoras, máscaras con equipos de respiración autónoma o máscaras respiradoras de aire comprimido, cascos de seguridad y el manual de seguridad. También deben colocarse letreros precautorios en todas las entradas de la bodega y se debe indicar en los mismos el nombre de la persona a cargo de la instalación.
6. Se debe mantener un registro de los movimientos de los materiales con PCBs en la bodega y una copia del mismo en otro sitio, por seguridad. Se debe inspeccionar la bodega periódicamente para comprobar el estado de los materiales con PCBs. Se deberá mantener una bitácora de las inspecciones, la cual deberá estar a disposición de los funcionarios del Servicio de Salud respectivo. Cualquier tambor que presente signos de fugas, escapes o goteos deberá cambiarse por otro en buenas condiciones.
7. Se deben colocar todos los equipos que contengan PCBs (transformadores, condensadores, tambores, etc.) sobre bandejas de escurrimiento. Todas las llaves de las válvulas se deben quitar antes de un almacenamiento prolongado. Se debe contar, dentro de la bodega, con elementos necesarios para la limpieza de derrames como: ropa, materiales absorbentes y herramientas.

Cabe señalar, sin perjuicio de las disposiciones antes señaladas, los principales disposiciones asociados al almacenamiento de residuos, se encuentran contenidos en los siguientes cuerpos normativos:

**D.F.L. N° 725 / 1967**

Título : Código Sanitario  
Repartición : Ministerio de Salud  
Diario Oficial : 31 Enero de 1968

**D.F.L. N° 1 / 1989**

Título : Determina materias que requieren autorización sanitaria expresa  
Repartición : Ministerio de Salud  
Diario Oficial : 21 Febrero de 1990

**D.L. N° 3.557 / 1980**

Título : Establece disposiciones sobre protección Agrícola  
Repartición : Ministerio de Agricultura  
Diario Oficial : 09 Febrero de 1981

**D.S. N° 594 / 1999 (Modificado por D.S. 201 / 2001, Ministerio de Salud, Diario Oficial 5 Julio de 2001)**

Título : Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en lugares de trabajo  
Repartición : Ministerio de Salud  
Diario Oficial : 29 Abril de 2000

**Resolución N° 5081 / 1993**

Título : Establece sistema de declaración y seguimiento de desechos sólidos industriales manejados en la Región Metropolitana  
Repartición : Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.  
Diario Oficial : 18/03/93

### **6.1.2. CONDICIONES TÉCNICAS RECOMENDABLES PARA UNA BODEGA DE PCBs**

A continuación, se indican condiciones técnicas con respecto a la construcción de las bodegas.

1. Cerca de seguridad alrededor de la bodega (alambrado metálico).
2. Muros de concreto.
3. Piso de concreto (sin drenaje). Se deben sellar todas las grietas y juntas de expansión entre losas con mezcla. El piso debe pintarse con pintura epóxica a fin de impedir filtraciones de los líquidos a través del concreto. Nota: ciertas pinturas y mezclas se deterioran en contacto con los PCBs, es necesario comprobar con el fabricante.
4. Pretil de concreto alrededor del perímetro de la bodega; el interior del pretil debe pintarse con pintura epóxica.
5. Las esquinas del pretil deben llevar mezcla selladora para evitar filtraciones bajo ésta.
6. Rampa de acceso sobre el pretil de concreto.

1. Los tambores que contienen PCBs, condensadores usados y materiales contaminados, deben ser almacenados sobre pallets para su fácil movilidad, debidamente señalizados.
2. Los tambores que contienen PCBs que no se han usado, deben ser almacenados sobre palotes, con una altura máxima de 3 pallets.
3. Debe tener un pasillo central de 2,4 metros de ancho mínimo.
4. Todos los productos almacenados deben estar a una distancia de 1 metro de las paredes perimetrales.
5. Debe tener un plan de emergencia en caso de incendio y/o derrames.
6. Debe tener ventilación suficiente para evitar concentración de vapores.
7. Debe poseer procedimientos para el almacenamiento y manejo seguro de PCBs.
8. El personal que manipulará estos residuos debe ser capacitado adecuadamente.
9. Puede ser bodega exclusiva o compartida con otros productos químicos, si es así deben respetarse los distanciamientos: 2,4 metros de otros productos peligrosos (excepto inflamables y combustibles) o 1,2 metros de productos no peligrosos inertes.
10. Los muros deben ser como mínimo F60, de estructura sólida, incombustible y con techo liviano.
11. La bodega debe contar con extintores de capacidad 6 Kg o superior; y con uno cada 150 metros como mínimo.
12. La bodega debe contar con sistema de detección automático de incendio.

### 6.1.3. CALIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Dado que las condiciones de almacenamiento de PCBs son un tema muy complejo debido a las características de estos líquidos dieléctricos, se procedió a establecer una calificación de estas condiciones, según lo especificado en las Tablas N° 6.1. y N° 6.2. elaboradas en conjunto por SESMA y CONAMA. Para este fin y de acuerdo a los requerimientos respecto de las condiciones de almacenamiento en bodega y en bóveda, se asignó una nota de acuerdo a los criterios consensuados en cada ítem, obteniéndose así un puntaje máximo de 20 puntos para el almacenamiento en bodega y de 15 puntos para el almacenamiento de bóveda, debiendo cumplir con todas las condiciones señaladas para poder obtener el puntaje máximo, y de esta manera la instalación de almacenamiento sea clasificada como **Muy Buena**, o en caso contrario, sea clasificada como **Buena, Regular o Insuficiente**.

La calificación que se le asignó a cada ítem varía en una escala de 1 a 3, dependiendo de la importancia del ítem que se esté evaluando, de modo tal que 1 significa que ese ítem se considera como Levemente Necesario, el 2 equivale a **Necesario** y el 3 a **Muy Necesario**. La comprobación de la existencia de cada ítem por separado, implica la asignación del puntaje indicado en la Tabla N°1, y en caso contrario, a asignación de un puntaje igual a cero.

A modo de ejemplo, en el caso de la existencia de reja de seguridad en una bodega, se le asigna un puntaje igual a 2. En el caso de los almacenamientos a la "**intemperie**", "**enterrado**" y "otro lugar

de almacenamiento", como por ejemplo **lugar semicerrado**, o **a la intemperie y envueltos en bolsas plásticas**, se consideran como almacenamiento insuficiente.

**Tabla 6.1.** Puntaje de las condiciones de almacenamiento en bodega y bóveda.

Condiciones de almacenamiento (1)	Puntaje para Bodegas	Puntaje para Bóvedas
Reja de seguridad	2	1
Acceso restringido	1	1
Radier impermeabilizado	3	3
Pretil	3	3
Captación de derrames	3	3
Bandejas metálicas	2	2
Ventilación	1	--- (2)
Etiquetado	2	2
Techo	3	--- (3)
Total Puntaje	20	15

(1) No se consideran las condiciones de "suelo" ni "radier no impermeabilizado", en virtud de que la sola existencia de una de ellas, equivale a un almacenamiento de tipo "insuficiente".

(2) Esta condición no existe dentro de una bóveda.

(3) Esta condición es inherente a una bóveda.

**Tabla 6.2.** Equivalencia de calificación versus puntaje total.

Calificación de la condición de almacenamiento	Puntaje total para Bodega	Puntaje total para Bóveda
Muy Bueno	20	15
Bueno	15 - 19	11 - 14
Regular	11 - 14	08 - 10
Insuficiente	0 - 10	0 - 07

## 6.2. TRATAMIENTO

A continuación se describen las principales características de los distintos materiales y productos contaminados por PCBs de manera que se puedan comprender mejor las técnicas de contaminación aplicables en cada caso.

### 6.2.1. TRANSFORMADORES

El transformador consiste fundamentalmente en una caja cerrada que contiene dos series de bobinas de cobre que comparten un núcleo magnético. El número relativo de alambres de cobre en cada bobina determina la relación de reducción (o aumento) del voltaje. El transformador tiene en su exterior dos puntos de conexión consistentes en un conductor eléctrico y una protección aislante de cerámica.

La caja externa es de hierro o de acero. Las partes activas del interior consisten en unas placas metálicas planas que actúan como magneto, rodeadas por las bobinas. Estas bobinas consisten en un alambre de cobre revestido de barniz. Además de estas piezas, el transformador habitual contiene (lo que puede resultar sorprendente) unos puntales de madera que mantienen en su lugar las partes activas; esto se debe naturalmente a que la madera es neutra desde el punto de vista eléctrico. La totalidad del espacio libre se rellena con un aceite dieléctrico que es el que durante muchísimos años se ha basado en los PCBs. Hoy en día en los equipos nuevos sólo se utilizan líquidos reemplazantes que no contienen PCBs.

La **descontaminación total** de un transformador plantea problemas resultantes de la propia estructura del equipo. Aunque las superficies metálicas como las de la caja se pueden descontaminar fácilmente con un solvente, en los transformadores se plantean dos problemas principales:

En primer lugar, el alambre de cobre está revestido de un barniz. Durante toda la duración de su uso, este barniz absorbe los PCBs que es preciso extraer, en un proceso que exige más tiempo que el necesario para limpiar las superficies externas metálicas de la caja. Lo mejor es separar las distintas piezas (cajas, bobinas, etc.) y adaptar el tiempo de descontaminación a las características de cada una de ellas.

El segundo problema, aún más grave, es el que plantean los puntales de madera y el papel que podría hallarse presente. Estos son materiales muy porosos y difíciles de limpiar con un solvente. Si no se descontaminan hasta concentraciones de PCBs que sean aceptables para su terraplenado (según reglamentos que varían de unos países a otros), las piezas en cuestión deben ser incineradas.

Para enfrentarse con el problema de la descontaminación de un transformador existen dos caminos: o bien se retira el aparato del servicio o bien estando aún el transformador en funcionamiento se reemplazan los líquidos dieléctricos por un sucedáneo que no contenga PCBs. En el primer caso, la descontaminación completa conduce a la destrucción del transformador con posible recuperación de la mayor parte de sus componentes metálicos.

El segundo método se denomina de "**retroalimentación**". Con el transformador aún en servicio se extrae el aceite eléctrico que se trata en un circuito cerrado que permita destruir los PCBs que contiene. Para la práctica de esta retroalimentación existen varias tecnologías.

Una desventaja de la retroalimentación es que los PCBs no sólo se encuentran en el aceite sino también en las estructuras porosas de madera del transformador. Así, los PCBs pueden irse difundiendo lentamente a partir de la madera al tiempo que durante el proceso de descontaminación va reduciéndose la concentración de PCBs en los aceites limpios. Este proceso de difusión no se concluye en el lapso de tiempo que dura la operación de retroalimentación y más tarde, a medida que se prosiga la difusión, irá aumentando la concentración de PCBs en el transformador retroalimentado. A causa de este incremento, la concentración de PCBs en el nuevo aceite puede superar al límite fijado por la legislación, lo que obligará a una ulterior operación de retroalimentación.

Pese a estos factores, la retroalimentación se utiliza con frecuencia y con éxito a grandes transformadores o a los que son inaccesibles por diversas razones.

Las tecnologías propuestas para la descontaminación de los transformadores han de tener en cuenta cada uno de estos factores.

### 6.2.2. CAPACITORES

Al igual que el transformador, el capacitor consiste en un contenedor metálico sellado con un núcleo activo. En el caso del capacitor, el núcleo está constituido por unas láminas continuas de una fina hoja metálica (aluminio) enrollada con la separación de una película aislante de polipropileno y/o papel impregnado con PCBs. Este núcleo está introducido en la caja del capacitor y el espacio que queda libre se rellena con un aceite dieléctrico de PCBs.

Esta estructura es relativamente difícil de descontaminar. En general, los capacitores se destruyen por incineración después de haber retirado todo el aceite de PCBs que puede hallarse presente, y de separar la caja del núcleo. Nunca es fácil extraer los PCBs existentes en el interior de la lámina enrollada.

Ello no obstante para el tratamiento de los capacitores existen ciertas tecnologías que permiten descontaminarlos y recuperar los materiales útiles para su reciclado. En el caso de los capacitores, los materiales útiles son la caja externa y la lámina de aluminio que se utiliza en los rollos. Este aluminio tiene una calidad eléctrica y si se descontamina por completo puede alcanzar precios elevados como material reciclado.

En el reciclado de esta lámina lo más difícil es conseguir una buena separación entre las láminas de aluminio y las de papel/polímeros. Ha de tenerse en cuenta que estas películas aislantes han absorbido PCBs y toda operación dirigida a recuperar el aluminio, que es fácil de descontaminar con un solvente, debe ocuparse así mismo de este material contaminado. Algunos capacitores se tratan y reciclan incluso en países donde se puede recurrir a la incineración; en estos casos se incineran después los materiales contaminados y de difícil descontaminación incluidos en la película orgánica. Éste es un buen método económico y técnicamente asequible para la descontaminación de capacitores con recuperación de materiales.

### 6.2.3. ACEITES DE TRANSFORMADORES

Un aceite contaminado por PCBs se puede tratar según dos métodos fundamentales:

1. Extracción de los átomos de cloro de las moléculas de PCBs y reutilización del aceite ("descloración");o,
2. Destrucción del aceite de PCBs por oxidación (incineración).

La descloración suele realizarse por reacción química con un agente reductor que extrae los átomos de cloro y da un aceite que puede adaptarse para su reutilización.

El caso (2) requiere una técnica que sólo pueden aplicar las empresas que extraen aceites de PCBs de transformadores antes de la incineración del transformador o de su desmantelamiento para recuperar las piezas metálicas útiles.

### 6.2.4. ACEITES DE DESECHO

Lamentablemente esta categoría de productos se utiliza con frecuencia en la industria. Incluye diversos aceites de desecho que se recogen conjuntamente para su ulterior eliminación. Sucede con frecuencia que por inadvertencia se mezclen aceites de desecho contaminados por PCBs con otros aceites de desecho generados normalmente y que por si mismos no suponen ningún riesgo particular. A continuación se observa que la mezcla de aceite está contaminada y se debe tratar mediante las adecuadas tecnologías de destrucción de PCBs.

Desde el punto de vista de la descontaminación existe una diferencia entre los aceites de transformador y los aceites de desecho. Los primeros están constituidos por hidrocarburos bien determinados e hidrocarburos clorados y se pueden descontaminar mediante los métodos químicos antes descritos. Por otra parte, los aceites de desecho se pueden tratar sólo después de haber analizado su composición. En general será preciso filtrarlos para extraer todos los cuerpos extraños y, en particular, será preciso extraer toda el agua antes de la descontaminación. Pero a causa de este problema y de los costos que ocasiona, la mayor parte de los aceites de desecho contaminados se destruyen en incineradores de alta temperatura o en hornos de cemento cuando existen.

### 6.2.5. SUELOS CONTAMINADOS

Para la descontaminación de suelos existen numerosos métodos pues ha sido preciso estructurarlos en función de cada tipo particular de suelo. Existen tres categorías de tecnologías para la limpieza del suelo, en este manual sólo se trata del lavado con solvente.

1. La biorreconstitución de los suelos utiliza bacterias seleccionadas que descomponen los hidrocarburos clorados (y otros) existentes en un suelo. En general, la formulación bacteriana se agrega al suelo in situ. La reacción de degradación es lenta y puede exigir varias semanas, eso en caso de que funcione.
2. La incineración es un método costoso pero eficaz para destruir los contaminantes orgánicos presentes en el suelo. Pero puede plantear problemas si se trata de suelos muy ricos en arcilla, ya que antes es preciso obtener una buena dispersión de la arcilla, proceso bastante laborioso.
3. Por último, los PCBs contaminantes pueden extraerse por ventilación (haciendo pasar aire para extraer vapores) o por lavado con solvente. En el caso de la ventilación, los vapores extraídos se condensan, generalmente sobre carbón activo. Aunque con estos procesos se puede obtener un suelo limpio, en realidad no hacen más que transferir los PCBs a otro medio: carbón o solvente. A continuación será preciso tratar estos productos para destruir los PCBs. El solvente obtenido de ese proceso y que contiene los PCBs podrá ser tratado por algunos de los métodos que a continuación se describen.

### 6.2.6. Procesos de descontaminación de equipos contaminados por PCBs

Los PCBs líquidos se pueden extraer del equipo de manera que los componentes sólidos puedan eliminarse o reciclarse en condiciones de seguridad. El líquido ha de ser tratado según alguno de los métodos que se describen en la siguiente sección.

Los componentes metálicos contaminados por PCBs no se pueden reciclar hasta que no se haya eliminado esa contaminación. Esto puede hacerse mediante extracción con solvente o termotratamiento, tratándose a continuación los desechos de PCBs según se describe en la siguiente sección. Así, el equipo descontaminado se puede reciclar en una planta convencional como una fundición de metal; por ejemplo, en Suecia los transformadores que contienen menos de 500 ppm de PCBs se pueden reciclar en cooperación con un negociante de chatarra. Otros componentes contaminados se tratan en una instalación de destrucción. El bajo punto de ebullición de solventes como propano, butano o hexano puede ser útil para el tratamiento de suelos y lodos. El solvente puede ser reutilizado una vez recuperado por destilación, pero aún quedarán residuos que contenga PCBs y que han de ser eliminados.

Las piezas metálicas se someten a termotratamiento previa carga o bien en la cabeza fija de un incinerador o, si se trata de piezas pequeñas, en tambores que expongan las superficies. La termodesorción puede utilizar un intercambio de calor directo o indirecto para alcanzar temperaturas en cama entre 170 y 550 °C, y aire o gas inerte para transferir los contaminantes vaporizados. El líquido evaporado se condensa y se recoge para su destrucción, mientras que las piezas descontaminadas se pueden reciclar. Una tecnología registrada que utiliza Eco Logic en Australia se basa en el uso de un procesador de termorreducción por lotes para descontaminar los sólidos, y a continuación los PCBs se someten a hidrotatamiento en atmósfera reductora. Como precursores del termotratamiento pueden utilizarse el drenado y el lavado con solvente, que se describen como parte del proceso de retroalimentación en el párrafo siguiente.

En un proceso conocido como retroalimentación, los PCBs se extraen de equipos como transformadores, mientras que el transformador se vuelve a llenar con un aceite de sustitución y se pone de nuevo en servicio. En este proceso se empieza por drenar el aceite de PCBs y después el interior del transformador se lava con un solvente como el tricloroetano, y por último el transformador se rellena con un nuevo dieléctrico. Después del retroalimentado aún pueden quedar cantidades considerables de PCBs pues es difícil lavar piezas interiores complejas, en particular en las alas. El proceso se ha de repetir varias veces si se quieren alcanzar concentraciones inferiores a 50 ppm, mientras que después de un solo lavado la concentración de PCBs es normalmente de 2,5 % (25.000 ppm). Es difícil predecir cuál va a ser la eficacia del proceso de lavado. En ciertos casos, los transformadores retroalimentados han de funcionar con una carga más reducida que antes y se han de adoptar precauciones contra incendios. Dada la edad de la mayor parte de los transformadores que aún contienen PCBs, normalmente el retroalimentado no es económico pero puede utilizarse en los casos en que el reemplazo sea difícil, por ejemplo en instalaciones petrolíferas o en cimientos de edificios.

### 6.3. TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCBs

La destrucción de los PCBs exige que se rompan los enlaces moleculares mediante una aportación de energía térmica o química. También se han estudiado los efectos de la energía biológica o de las radiaciones pero hasta ahora estos estudios no han tenido consecuencias comerciales. En la Tabla 6.3. se resumen las principales características de los procesos ya establecidos, que se describen a continuación. En esta sección se incluye el terraplenado pero éste constituye fundamentalmente un procedimiento de almacenamiento a largo plazo, no de destrucción. El resultado de los distintos procesos se puede caracterizar, entre otros métodos, por un porcentaje en la eficiencia de la destrucción eliminación (DRE), que se obtiene mediante la fórmula:

$$DRE = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100$$

en la que:  $W_{in}$  = tasa de alimentación de masa  
y  $W_{out}$  = tasa de emisión de masa

**Tabla 6.3.** Características del proceso de destrucción de PCBs.

Proceso	Tipos de desechos aceptados	Ventajas	Inconvenientes
Ejemplos de incineración – hornos rotatorios, hornos de cemento	Aceites, residuos del proceso de separación Equipo con desechos que contienen PCBs	Se obtiene una elevada eficiencia de destrucción, cumple los requisitos legales, vale para toda la serie de PCBs y aportes de desechos haciendo inocuos los productos. Las instalaciones pueden tratar toda una serie de desechos, tanto clorados como no clorados	Contenido de PCBs sólo como combustible. Costoso, sobre todo si los desechos han de ser enviados fuera. La incineración puede despertar la oposición pública
Declaración química, hidrot ratamiento y tecnología de electrones solvatados	PCBs líquidos	Los aceites desclorados se pueden utilizar con otros fines, por ejemplo como lubricantes	Es necesario determinar las condiciones del tratamiento para los componentes individuales
Sistemas de arco plasmático	PCBs líquidos y sólidos bombeables	Escaso inventario de procesos	La experiencia operativa en cuanto al tratamiento de desechos con sistemas de plasma es limitada

### 6.3.1 Incineración

En la actualidad, los desechos con PCBs se destruyen en su gran mayoría por incineración. Esto se debe a que la incineración a alta temperatura es una tecnología bien establecida y fácilmente disponible en muchos países industrializados. La mayor parte de estas instalaciones se encuentran en Europa y América. No siempre se han construido con miras a la destrucción de PCBs y compuestos halogenados, ya que muchas de ellas tenían como objeto el tratamiento de los propios desechos de las compañías de productos químicos. Debe advertirse que ciertos países industrializados ya no autorizan esos incineradores, siendo ejemplos destacados los de Japón (PCBs) y Australia; estos países están obligados a hallar otras tecnologías de destrucción.

Otra tecnología que es similar a la incineración es la que utilizan los hornos de cemento, muy extendidos y que destruyen sobre todo desechos líquidos que contienen PCBs. Los líquidos que contienen PCBs se introducen en el horno de cemento junto con el combustible, de manera que el desecho líquido reemplaza en parte al combustible convencional. Estos desechos tienen con frecuencia un valor calórico elevado y, por consiguiente, los operadores de hornos de cemento los aceptan con satisfacción por representar una fuente de energía más barata. Normalmente las condiciones de funcionamiento de los hornos de cemento que queman desechos clorados son objeto de un estricto control por parte de las autoridades competentes, que han de asegurarse de que las concentraciones de dioxinas y furanos que puedan hallarse en los gases de salida se mantienen dentro de las normas reglamentarias. El que estos hornos puedan aceptar mezclas con PCBs o cualquier otro tipo de mezcla clorada depende en medida considerable de la concentración de cloro en el material, ya que los materiales más clorados presentan complicaciones que van siendo cada vez más difíciles.

Los principales productos de la incineración a alta temperatura son el dióxido de carbono y el agua, así como una ceniza inorgánica. El cloro presente se convierte en cloruro de hidrógeno gaseoso, que se extrae junto con otros componentes que pueden formarse como productos secundarios de la combustión, utilizando un equipo de control de la contaminación atmosférica. La efectividad de la incineración es función del tiempo de residencia, la temperatura, la turbulencia y la concentración de oxígeno.

Para mantener esos parámetros en el punto deseado y asegurar la eficacia del sistema de depuración del gas es preciso mantener un riguroso control del proceso. Las cenizas producidas y depositadas al fondo no plantean importantes problemas de eliminación.

Estos procesos de combustión cuentan con la autorización del organismo de reglamentación correspondiente. Se vigilan las emisiones, en muchos casos continuamente, y el proceso se controla rigurosamente con el fin de reducir al mínimo los efectos ambientales.

Normalmente, los lodos líquidos y diluidos se bombean al incinerador. Los aportes sólidos, incluido el equipo para su eliminación, pueden requerir algún tipo de procesado previo, o bien:

- Mediante una alteración mecánica, por ejemplo despedazado para exponer el contenido de los capacitores, drenaje y desmontado de los transformadores; recorte hasta el tamaño adecuado de los grandes transformadores, o
- Empacado de sólidos y lodos en bidones y alimentación por gravedad del dispositivo.

Las zonas de manejo de desechos en la vecindad de la entrada del horno deberán estar cubiertas y positivamente drenadas a un sumidero cerrado, cuyo contenido se ha de incinerar.

La incineración puede realizarse en instalaciones especiales diseñadas específicamente para los PCBs y otros desechos clorados, o bien pueden aprovecharse instalaciones previstas para el termotratamiento de otros materiales, por ejemplo hornos de cemento que pueden ser autorizados a aceptar como combustible una cierta proporción de desechos clorados. Las instalaciones de incineración más importantes son:

- Incineradores de horno rotatorio
- Incineradores de inyección líquida
- Incineradores de horno fijo
- Incineradores de cama fluidizada
- Hornos de cemento

Los hornos rotatorios consisten en un tubo rotatorio inclinado en  $1^{\circ}$  -  $2^{\circ}$  con respecto a la horizontal de manera que los desechos vayan desplazándose horizontal y radialmente a todo lo largo del cilindro. Una rotación lenta de 0,5 a 2 rpm favorece la turbulencia. Los desechos se vierten en el extremo más elevado y las cenizas salen por el más bajo. Los gases de la combustión pasan a una cámara de combustión secundaria.

Normalmente, tratándose de sustancias halogenadas, la cámara de combustión primaria del horno rotatorio funciona a una temperatura de  $1.100^{\circ}\text{C}$  (aunque se puede elevar a  $1.300^{\circ}\text{C}$  si lo exigen los desechos) con un tiempo mínimo de residencia de 2 segundos y un exceso de concentración de oxígeno del 6% v/v por lo menos.

Los hornos rotatorios pueden funcionar en un «modo de escoria» produciendo una escoria vítrea fundida que tiene baja concentración de materia orgánica y baja tasa de lixiviación. Al parecer, este modo de funcionamiento se practica en Europa, mientras que en Estados Unidos estos incineradores funcionan a temperaturas inferiores a las de fusión, produciendo ceniza.

Del mismo modo, los hornos fijos utilizan una combustión en dos fases, sobre una reja horizontal en la cámara primaria. En unidades de menor tamaño, los desechos se cargan intermitentemente pero las cenizas no se extraen hasta que alcanzan una cantidad que interfiere con la operación. En las unidades de mayor tamaño un brazo va empujando la carga continuamente a través del incinerador y simultáneamente se extraen las cenizas.

Los incineradores de inyección líquida consisten en unos cilindros revestidos de materia refractaria, situados horizontal o verticalmente, provistos de un quemador primario para los desechos y de combustible auxiliar para atomizar el desecho en la cámara de combustión. Son adecuados para desechos líquidos relativamente fluidos. Si se utiliza un atomizador mixto externo se puede tolerar cierta contaminación sólida.

Los incineradores de cama fluidizada emplean un lecho fluidizado de arena en suspensión en el que se inyectan los desechos como un líquido, un cieno o un sólido uniformemente fragmentado. La mayor parte de las cenizas permanecen en el lecho por lo que en un momento dado se ha de limpiar la arena. El lecho fluidizado se puede manejar por diversos métodos.

El uso de los hornos de cemento constituye un ejemplo de eliminación de desechos en equipos utilizados para la producción de bienes industriales. La fabricación del cemento necesita de combustible que caliente la mezcla agregada, y en lugar del aceite pesado pueden utilizarse desechos que tengan un valor calórico suficiente. Los desechos de solventes clorados pueden utilizarse en el horno como combustible suplementario. Los materiales sólidos pueden introducirse en un punto central de la parte descendente del horno. Una importante ventaja del procesado de desechos clorados en hornos de cemento es que los residuos sólidos quedan incorporados al clinker, evitándose así la generación de una corriente adicional de desechos sólidos. El HCl reacciona en atmósfera alcalina. Los hornos de cemento tienen un grado elevado de estabilidad térmica y dan temperaturas de llama superiores a 2.000°C con bajos tiempos de retención para gases y materias primas.

Además de esas tecnologías, que permiten la destrucción a alta temperatura de compuestos clorados, existen otros procesos que se utilizan en numerosos países. Estas tecnologías utilizan sobre todo métodos de descontaminación y destrucción fisicoquímicos y químicos. Algunas de estas instalaciones para la destrucción de PCBs incorporan, o necesitan, una fase de incineración, en general para la destrucción final de los PCBs extraídos de equipos eléctricos. Para ello existen dos razones:

1. Algunas empresas de incineración realizan una primera operación de tratamiento del equipo eléctrico que consiste en una limpieza con solvente del equipo en cuestión (transformador y/o capacitor), con recuperación de los metales para su reciclado. A continuación se incineran algunas de las piezas difíciles de descontaminar, como los materiales orgánicos.
2. Cuando los aceites se tratan para extraer los PCBs mediante un solvente, éstos se concentran por destilación y se obtiene un producto rico en PCBs. Aunque ciertas tecnologías facilitan la eliminación química de esos productos, algunas empresas recurren a la incineración para completar su proceso de descontaminación.

### 6.3.2. Decloración

Con los procesos de decloración se trata de poder reutilizar/reciclar el aceite libre de cloro.

La **descloración con sodio** es la tecnología más frecuente y se basa en el uso de sodio metálico para desclorar las moléculas de PCBs y dar un aceite que puede reutilizarse, en el transformador o de cualquier otra manera. La tecnología tiene sobre la incineración la ventaja de que no sólo es menos costosa sino que además permite recuperar y reutilizar el aceite.

El sodio es un metal reactivo que se oxida con facilidad; reacciona violentamente con el agua dando gas hidrógeno y con riesgo de incendio. Tiene fuerte afinidad por ciertos elementos, incluido el cloro. Ésta es la propiedad que se explota en la tecnología de descontaminación por sodio metálico: el sodio reacciona con los átomos de cloro de las moléculas de PCBs dando cloruro sódico.

La introducción de sodio metálico en un aceite de PCBs provoca una reacción cuya velocidad depende de la interfaz metal–aceite. La velocidad de reacción entre el metal sólido y los aceites que contienen PCBs depende de la amplitud de esta interfaz, de manera que cuanto más finas sean las partículas metálicas, más rápida será la reacción. Las dispersiones de sodio que actualmente se proponen son extraordinariamente finas y parecen emulsiones, de manera que poseen una elevada área de superficie metálica. La dispersión se utiliza a una temperatura superior al punto de fusión del sodio, es decir, 98°C. Por ser líquida, la superficie metálica se puede renovar continuamente. De esta forma se puede alcanzar una velocidad de reacción razonable lo que reduce el costo del proceso de descontaminación.

Cuando los PCBs reaccionan con sodio metálico pueden producirse reacciones secundarias. Durante la fase de descloración, las moléculas cloradas intermedias pueden polimerizarse y conducir a la formación de un sólido (polímero) que contiene cloro. El producto ya no se puede desclorar más y se precipita de la reacción en forma sólida. Por consiguiente, un proceso "limpio" deberá evitar o bien la formación del polímero (lo que se consigue en una o dos tecnologías identificadas) o bien deberá tener en cuenta la formación de este sólido e introducir una fase de separación que permita obtener un aceite puro reutilizable.

Esta tecnología del sodio ofrece varias variantes y no siempre se conocen todos los detalles técnicos. Hace ya mucho tiempo que se conoce el uso del sodio para la descloración de los PCBs. Pero sólo cuando se han sistematizado las tecnologías más recientes relacionadas con la preparación de dispersiones muy finas del sodio metálico se ha hecho económicamente factible el uso de este metal activo, a lo que también ha contribuido la cuestión de la reducción del riesgo de incendio. Las recientes dispersiones finas de sodio son en realidad relativamente estables si se comparan con los groseros reactivos de sodio utilizados en tiempos anteriores.

La tecnología del sodio utiliza una cantidad de reactivo proporcional al contenido inicial de PCBs en el aceite. El tiempo de reacción dependerá también de este nivel inicial de PCBs. Esto significa que el costo de la descontaminación sólo puede expresarse en términos de nivel de contaminación del aceite. Esto no siempre se tiene en cuenta en los costos que se comunican con respecto a los procesos con sodio.

Los procesos químicos están ya bien sistematizados y se utilizan comercialmente para el tratamiento de PCBs líquidos y de aceites contaminados con PCBs. El contenido de cloro se convierte en sales inorgánicas que pueden extraerse de la fracción orgánica por filtración o centrifugación. Las reacciones se realizan en atmósfera inerte (para evitar todo riesgo de incendio) y en ausencia de agua (los desechos se deshidratan previamente por calentamiento). La planta puede ser fija o móvil y se utiliza con el PCBs dentro de un transformador operando en un proceso que puede durar hasta una semana; un posible inconveniente es que en el proceso pueden destruirse inhibidores de la oxidación, lo cual limita el reciclado del aceite.

El proceso de dechloración con catalizador básico sirve para tratar desechos que contengan hasta un 10% de PCBs y reduce los cuerpos orgánicos clorados a menos de 2 ppm. Es un proceso que se desarrolla por lotes de acuerdo con una serie de fases:

- Adición del álcali en forma de suspensión o dispersión acuosa, o junto con un solvente de elevado punto de ebullición (entre 200 y 500 °C) a razón de 1 a 20% por peso
- Adición de un compuesto donante hidrogenado: por ejemplo un solvente de elevado punto de ebullición, un ácido graso o alcohol, y una fuente de carbono como un carbohidrato
- Calentamiento hasta constituir un medio deshidratado
- Calentamiento a temperaturas de 200 a 400 °C, normalmente durante 0,5 a 2 horas. Así reaccionan el álcali y la fuente de hidrógeno, catalizado el proceso por la fuente de carbono, para formar el ion hidruro ( $H^-$ ) que reacciona con el hidrocarburo clorado para formar un hidrocarburo y el cloruro metálico alcalino

Se trata de un sistema en lo fundamental cerrado y el volumen de emisiones gaseosas es bajo en comparación con el de los procesos de combustión antes descritos. Los capacitores que contienen PCBs no se pueden tratar directamente ya que en condiciones alcalinas el hidrógeno se separa del aluminio contenido. Pero este problema se puede superar mediante una operación previa al tratamiento en la que el hidrógeno se genera y se libera a presión atmosférica.

Para el tratamiento durante el servicio de aceites de transformador se ha sistematizado un proceso conocido como PCBs Gone. El líquido se recircula hasta que las concentraciones de PCBs son inferiores a las requeridas (normalmente < 2 ppm). El líquido utilizado se regenera por filtración a través de tierra de Fullers (para extraer ácidos, lodos y otros productos de la oxidación). El proceso utiliza un agente dechlorador patentado. El proceso Fluidex ofrece un método de tratamiento para la regeneración de la tierra de Fullers, lo que reduce o evita la necesidad de desecharla.

El **hidrotratamiento** es el tratamiento de los aceites (es decir de los desechos líquidos) con gas hidrógeno a alta temperatura y en presencia de un catalizador. Los hidrocarburos clorados se descomponen en metano y ácido clorhídrico, que se convierte en una solución salina mediante escobillado con sosa cáustica. Para un buen funcionamiento es esencial mantener un estricto control del proceso. La reacción de desplazamiento del agua y el chorro catalítico reformador puede utilizarse para producir hidrógeno a partir del metano, evitándose así la necesidad de recurrir a una fuente externa de hidrógeno, pero la mayor complejidad del conjunto de la operación ha llevado a abandonar el reciclado del hidrógeno en ciertas operaciones.

Con la **tecnología de electrones solvatados** suelos que contienen hasta un 25% de agua y piezas metálicas se cargan en un recipiente de reactor rotatorio a presión, cargado con amoníaco líquido. Se agrega un álcali o un metal alcalino térreo, normalmente calcio, lo que provoca una reacción de electrones solvatados que convierte a los PCBs en carbohidratos por dechloración y formación de cloruro metálico. El amoníaco se puede recuperar para su reutilización y el suelo se puede volver a poner en su lugar. US EPA ha dado su aprobación al tratamiento de lotes de 250 kg.

### 6.3.3. Sistemas de arco plasmático

Los sistemas de arco plasmático crean un campo de plasma térmico dirigiendo una corriente eléctrica a través de una corriente de gas a baja presión para el tratamiento de materias orgánicas cloradas y otros desechos. El arco plasmático se puede utilizar como fuente de calor para la combustión o la pirólisis, o para disociar desechos en átomos inyectando los desechos en la altísima temperatura (5.000 a 15.000 °C) del arco plasmático. Una de las tecnologías se utiliza para el tratamiento de líquidos y sólidos bombeables. El breve tiempo de residencia (20-50 milisegundos) significa que el inventario del proceso es muy bajo, 0,5 g para el tratamiento de 1 a 3 toneladas de desechos al día. El proceso alimentado eléctricamente se puede cortar o iniciar en pocos segundos. El desecho se piroliza en iones y átomos a una temperatura superior a 3.000 °C. Estos iones y átomos se recombinan en el área de refrigeración de la cámara de reacción antes de un rápido enfriamiento alcalino. Entre los productos finales figuran gases (argón, dióxido de carbono y agua) y una solución acuosa de sales de sodio.

La tecnología del plasma puede servir para convertir numerosos compuestos orgánicos complejos en moléculas más sencillas e inocuas como dióxido de carbono, agua y ácido clorhídrico. Se basa en el principio de someter una corriente del material que se va a tratar a una descarga eléctrica de alta energía. Con el arco plasmático pueden alcanzarse temperaturas extraordinariamente elevadas. A esas temperaturas las sustancias químicas se disocian rápidamente. Las condiciones del plasma, en particular la presión y la posible atmósfera residual, pueden adaptarse a los requerimientos concretos del caso.

La complejidad de la tecnología implica que los costos del tratamiento pueden ser relativamente elevados y, por consiguiente, aún no se utiliza ampliamente.

Otras tecnologías afines utilizan un método combinado plasma-químico, en el que la "atomización" a alta temperatura va seguida de una oxidación a productos secundarios inocuos.

### 6.3.4. OTRAS TECNOLOGÍAS

Tecnologías de eliminación no específicas

En distintos lugares, para eliminar materiales contaminados con PCBs, en particular aceites de desecho, se han utilizado ciertos equipos industriales preexistentes. El ejemplo más común es el de los hornos de fabricación de cemento. Los combustibles que se utilizan para la fabricación de cemento en hornos se pueden combinar con aceites de desecho contaminados por PCBs. Ofrecen la ventaja de que este material de desecho incrementa el valor calórico del combustible, al tiempo que queda destruido. Pero es imprescindible que la operación de incorporación de aceites de PCBs al horno de cemento sea objeto de un estricto control del equipo de depuración de gases y, por consiguiente, de las posibles emisiones de dioxinas y furanos.

Pueden citarse otros dos ejemplos de utilización de equipos industriales preexistentes para la destrucción de PCBs. Aunque parece ser que sólo se utilizan en pequeña escala, se mencionan aquí por considerarse como valiosos, aunque no convencionales, métodos de destrucción de PCBs:

1. Destrucción de PCBs en las sales fundidas que se encuentran en las bases de las calderas de reciclado de licor negro en la industria de la pasta de papel. Se sabe que si los PCBs se introducen en la sal fundida, ésta puede desclorarlos hasta obtener buenos niveles de descontaminación;
2. Inyección de aceites de desecho contaminados en altos hornos. Las condiciones de combustión y oxidación en los altos hornos son favorables a la destrucción del PCBs y además los óxidos básicos presentes en el horno pueden reaccionar con los productos secundarios, por ejemplo ácido clorhídrico, neutralizándolos.

## Procesos para la descontaminación de transformadores

Las actuales tecnologías de descontaminación de transformadores se pueden agrupar en tres categorías principales:

1. Drenaje de aceite de PCBs del transformador, descontaminación de este aceite y reinyección del producto descontaminado para la reutilización del transformador. Esta operación se denomina de **retroalimentación**.
2. Extracción del aceite de PCBs, lavado del transformador con solvente y desmantelamiento y ulterior descontaminación de las piezas de manera que puedan reciclarse las partes metálicas.
3. Recuperación de los transformadores mediante lavado con solvente para la recuperación del metal; a continuación, los solventes del lavado se destilan para recuperar parte de los solventes, mientras que el resto se incinera.

Al evaluar las mencionadas tecnologías es importante considerar en qué medida los procesos de tratamiento son completos, es decir que no generan pequeñas cantidades de residuos de difícil eliminación. En particular estos residuos pueden estar constituidos por materiales porosos como la madera y el papel. Pocas de las empresas antes citadas como utilizadoras de la limpieza con solvente llegan a obtener una descontaminación completa; por consiguiente, para eliminar estos residuos están obligados a recurrir a la incineración. Esto significa que la tecnología propuesta sólo será aplicable en países donde haya acceso a instalaciones de incineración adecuadas.

Como puede verse, las tecnologías presentadas cubren una amplia gama de tratamiento y recuperación de piezas del transformador, factor que debe tenerse en cuenta cuando se comparen diversas tecnologías. La descontaminación nunca se aplica de forma completa a todas las piezas, lo que significa que queda un residuo que ha de ser incinerado. En el mejor de los casos se tratará sólo de las partes porosas (madera y papel), a menos que la técnica del solvente se aplique durante largos periodos de procesamiento y se obtenga un producto final con concentraciones residuales PCBs legalmente aceptables para depositar. En otras palabras deberá tenerse en cuenta el coste total del tratamiento, incluido el de la eliminación final de los residuos.

## Procesos para la descontaminación de capacitores

Los capacitores son semejantes a los transformadores en cuanto a su construcción a base de un núcleo activo mantenido dentro de una caja metálica. Pero el núcleo activo no consiste en bobinas de cobre sino en rollos interpuestos de fina lámina de aluminio separada por finas películas de papel y/o plástico.

Los actuales métodos para tratar los capacitores pueden clasificarse en función de la cantidad de producto que se recicla. Todas las tecnologías consisten en extraer los PCBs líquidos antes del tratamiento. Una posible clasificación sería la siguiente:

1. Sin recuperación de piezas, incineración de los capacitores, con o sin despedazamiento.
2. Se quita la caja del capacitor y se descontamina por lavado con solvente; éste es un procedimiento directo de descontaminación ya que se trata de una pieza no porosa. El núcleo se incinera.

3. Es posible dar un paso más y tratar el núcleo después de su extracción de la caja. Esta descontaminación exige normalmente el despedazamiento del núcleo y su tratamiento con un solvente. Así puede reducirse el nivel de PCBs residual hasta valores que permitan su disposición final.
4. La tecnología que facilita la mayor proporción de reciclado es semejante a la 3 antes mencionada, pero además con tratamiento del residuo de mezcla de aluminio/plástico/papel para separar estos componentes, que se lavan con solvente. Después puede reutilizarse el metal de aluminio. El único componente para disponer es la mezcla de desechos de papel/plástico.

En general se puede afirmar que hoy en día, los capacitores se descontaminan en escasa medida, ya que la gran mayoría se envían para su destrucción en incineradores de alta temperatura.

Como en el caso de los transformadores, raramente se consigue descontaminar por completo los capacitores y en particular, para la eliminación de residuos orgánicos se ha de depender de la existencia de una tecnología de incineración. También en este caso existe la posibilidad técnica de alcanzar una descontaminación completa incluso de las piezas orgánicas porosas, pero esto aumenta considerablemente el costo del proceso total.

Para que se pueda elegir entre las tecnologías más adecuadas en un determinado contexto, será preciso tomar en consideración tanto los costos de inversión como los ulteriores costos de funcionamiento. Entre los costos adicionales consiguientes al tratamiento de los productos secundarios figuran, en particular, la eliminación de residuos no descontaminados y la de los efluentes de desecho. Estos detalles pueden obtenerse en una segunda fase sólo a partir de las empresas que practican las correspondientes tecnologías.

### **Reducción química en fase gaseosa**

La reducción química en fase gaseosa es una tecnología registrada desarrollada y utilizada por Eco Logic, que incluye la reducción química en fase gaseosa de compuestos orgánicos mediante el hidrógeno a temperaturas de 850 °C o superiores. En el proceso, en un nivel menor de eficiencia, se produce además una reacción incidental de agua (como vapor) con metano, formando monóxido de carbono y dióxido de carbono. El vapor se utiliza en el reactor del proceso para la transferencia de calor. De acuerdo con la empresa, ciertos componentes orgánicos como los PCBs se reducen en último término a metano, cloruro de hidrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos de bajo peso molecular (benceno y etileno). El ácido clorhídrico se neutraliza mediante la adición de sosa cáustica durante la refrigeración inicial del gas del proceso.

La compañía describe el proceso Eco Logic, del que forma parte la reducción química en fase gaseosa, como un proceso con tres componentes básicos: el sistema frontal terminal (en el que los contaminantes se llevan a una forma adecuada para su destrucción en el reactor), el reactor de la reducción química en fase gaseosa (que reduce los contaminantes, ya en fase gaseosa, utilizando hidrógeno), y el sistema de escobillado de gas y compresión. Las unidades para el sistema frontal terminal diferirán según la matriz que contenga el desecho. Así, por ejemplo, productos sólidos al granel como equipos eléctricos, materiales en bidones, PPE, carbones consumidos, etc., se colocan en un procesador de lotes por reducción térmica (TRBP), que procede a la desorción de contaminantes a partir de los materiales sólidos y, a continuación, los lleva al reactor para su destrucción.

Los líquidos se inyectan directamente en el reactor mediante boquillas atomizadoras o se pueden pulverizar directamente sobre el TRBP para su volatilización. Se afirma que tanto el TRBP como el sistema de inyección líquida están plenamente comercializados y se han utilizado en el tratamiento de más de 3.000 toneladas de materiales con PCBs y otros contaminantes orgánicos en lugares situados en el mundo entero. En la actualidad funciona una planta de reducción química en fase gaseosa en plena escala en Australia, en el tratamiento de desechos contaminados por PCBs, plaguicidas y otros contaminantes orgánicos persistentes. Desde enero de 1997 la planta de Australia ha tratado 775 toneladas de desechos contaminados por PCBs (consistentes sobre todo en equipos eléctricos y aceites con PCBs), así como 150 toneladas de plaguicidas organoclorados. En Canadá se utiliza una unidad de demostración portátil situada en la oficina principal de Eco Logic para realizar pruebas de tratabilidad para posibles clientes. Una segunda unidad portátil se encuentra en Japón, donde los asociados de Eco Logic, Tokyo Boeki y Nippon Sharyo, la utilizan para ensayos reglamentarios.

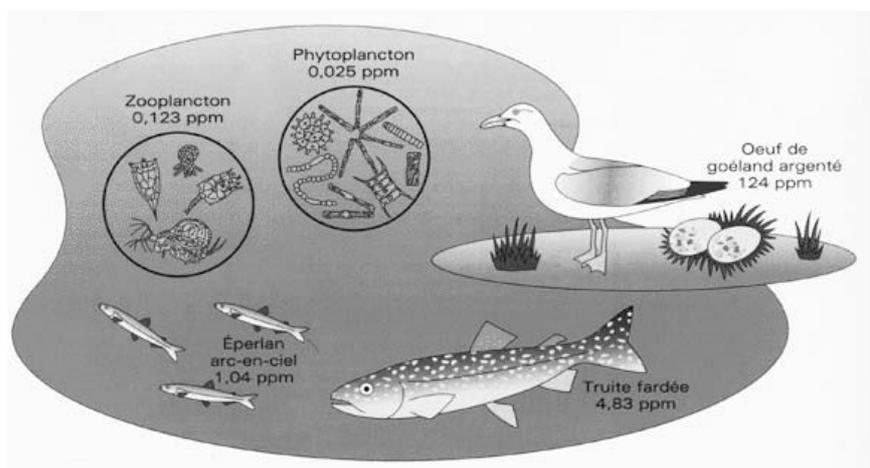
### 6.3.5. Conclusiones

1. La incineración, cuando está disponible, es la tecnología más extendida y utilizada para la destrucción de PCBs;
2. Pero dado el costo de la incineración y el hecho de que no está disponible en muchos países, con frecuencia se ha de recurrir a otras tecnologías;
3. Estas tecnologías tienen la ventaja no sólo de su costo inferior sino también de que permiten tratar económicamente volúmenes muy inferiores de materiales de desecho; ésta es una ventaja considerable sobre todo para los países que ahora han de enfrentarse con el problema de la eliminación de desechos de PCBs; y,
4. Aunque la descontaminación del aceite puede conseguirse mediante tecnologías que facilitan la completa destrucción de los PCBs, los transformadores y capacitores pueden plantear problemas a causa de la presencia en ellos de pequeñas cantidades de materiales porosos y orgánicos cuya total descontaminación es muy costosa.

# CAPÍTULO 7 Efectos sobre la salud y el medio ambiente

## 7.1. EFECTOS SOBRE LA SALUD

Los PCBs se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente de todo el mundo, son persistentes y se acumulan en la cadena alimenticia, tal como se presenta en la siguiente Figura 7.1. La exposición humana a estas sustancias se debe fundamentalmente al consumo de alimentos contaminados, pero también a la inhalación y absorción cutánea en los lugares de trabajo. Los PCBs se acumulan en el tejido adiposo de los seres humanos y de los animales, causando efectos tóxicos, particularmente en el caso de exposiciones repetidas. La patología se manifiesta principalmente en la piel y el hígado, aunque también su blanco puede ser el tracto gastrointestinal, el sistema inmunitario y el sistema nervioso



**Figura 7.1.** Grado de concentración de PCBs (en partes por millón, ppm) en cada nivel de la cadena alimenticia acuática en los Grandes Lagos. Los mayores niveles se alcanzan en aves que se alimentan de huevos de peces y en gaviotas. [Ref. US EPA, The Great Lakes Atlas: Chapter 4; <http://www.epa.gov/glnpo/atlas/glat-ch-4.html>].

Es muy difícil evaluar la toxicidad de los PCBs, debido a que normalmente estos compuestos se encuentran en mezclas y pueden contener diversas impurezas, por este motivo, ésta puede diferir entre exposiciones directas, trabajadores, y exposiciones indirectas, población en general, esto debido a la diferencia en la degradación de los diferentes compuestos.

Se ha determinado que la ingesta diaria de PCBs, en la mayoría de los países industrializados, alcanza a 1 mg por persona, nivel con el cual no se han observado efectos adversos en las personas. Se espera que existan síntomas después de una ingesta mínima oral de 500 mg .

En la historia se han registrado dos grandes casos de intoxicación debido a los PCBs, uno en Japón y el otro en Taiwán, los principales efectos producidos por esta exposición, en ambos casos, son: hipersecreción de las glándulas meibomianas de los ojos, inflamación de los párpados y pigmentación de las uñas y de las membranas mucosas, ocasionalmente acompañado de cansancio, náuseas y vómitos. Además, se observaron edemas en brazos y piernas, aumento en el tamaño del hígado y trastornos hepáticos, alteraciones del sistema nervioso central, problemas respiratorios y cambios en el sistema inmunitario.

En el ámbito laboral, de acuerdo a estudios de exposición aguda, tras una hora de exposición se produjo una erupción cutánea. A altas concentraciones, se observaron otros efectos como prurito, escozor, irritación conjuntival, pigmentación de dedos y uñas y cloroacné. Es importante destacar que el cloroacné es uno de los efectos predominantes en la exposición laboral.

### 7.1.1. TOXICIDAD AGUDA

Los siguientes efectos a la salud pueden ocurrir inmediatamente después de una exposición de corto tiempo:

- Exposición al vapor puede irritar los ojos, nariz y garganta.
- Altas exposiciones pueden dañar el hígado.

A continuación en la Tabla 7.1 se presentan algunos datos de toxicidad aguda, en distintas especies y por distintas rutas (RTECS, 1991).

**Tabla 7.1.** Datos de toxicidad aguda, para diferentes especies y rutas [RTECS, 1991].

Compuestos	CAS	LD50
Bifenilos policlorados (PCBs)	1336-36-3	(Oral) Ratón: 1900 mg/kg
Aroclor 1016	12674-11-2	(Oral) Rata: 2300 mg/kg
Aroclor 1221	11104-28-2	(Oral) Rata: 3980 mg/kg
Aroclor 1232	11141-16-5	(Oral) Rata: 4470 mg/kg
Aroclor 1242	11104-29-3 53469-21-9	(Oral) Rata: 4250 mg/kg
Aroclor 1248	12672-29-6	(Oral) Rata: 11 gm/kg
Aroclor 1254	11097-69-1	(Oral) Rata: 1010 mg/kg (Intraperitoneal) Ratón: 880 mg/kg
Aroclor 1260	11096-82-5	(Oral) Rata: 1315 mg/kg
Kanechlor 300	37353-63-2	(Oral) Rata: 1100 mg/kg (Oral) Conejo: 600 mg/kg
Kanechlor 400	12737-87-0	(Oral) Rata: 1100 mg/kg (Oral) Ratón: 1600 mg/kg

### 7.1.2. EFECTOS CRÓNICOS

Los siguientes efectos crónicos a la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición a Bifenilos Policlorados:

### **Peligros de Cáncer**

- \* Los bifenilos policlorados son probables cancerígenos. Hay alguna limitada evidencia que ellos causan cáncer a la piel en humanos y ha sido demostrado su potencial de causar cáncer al hígado en animales.
- \* Muchos científicos afirman que no hay nivel seguro de exposición a un agente que cause cáncer. Tales sustancias tienen también el potencial de causar daños en la reproducción de los humanos.

### **Peligros en la reproducción**

- \* Los bifenilos policlorados pueden ser teratogénicos en humanos, pues se ha comprobado su poder teratogénico en animales.
- \* Pueden pasar de la madre al niño a través de la leche.
- \* Pueden afectar el sistema reproductivo de adultos.

### **Otros efectos de largo tiempo**

- \* Repetida exposición puede causar daño al hígado.
- \* Pueden causar una severo cloroacné, el cual puede persistir por años.
- \* Altas exposiciones pueden dañar el sistema nervioso, causando parálisis, pérdida de fuerza y picazón y dolor en brazos y piernas.

## **7.2. EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE <sup>[51]</sup>**

Las liberaciones de mezclas comerciales PCBs al medio ambiente <sup>[52]</sup>, además de las liberaciones que ocurren durante la disposición final autorizada y/o la destrucción, se limitan a liberaciones accidentales de PCBs en uso, como resultado de fugas o derrames durante la falla o ruptura del equipo que contiene PCBs, o combustión incompleta durante incendios accidentales que involucran equipos que contienen PCBs.

Generalmente la mayor fuente de liberaciones de PCBs al aire, agua y suelo proviene del reciclaje de aquellos que permanecen el medio ambiente, pasando desde un medio ambiental a otro. Este proceso cíclico involucra la volatilización de los PCBs desde superficies acuáticas y terrestres hacia la atmósfera, y posteriormente la re-deposición de estos compuestos sobre la superficie de la tierra. El promedio de las concentraciones típicas de PCBs son 1-10 ng/m<sup>3</sup>, 0,6 ng/m<sup>3</sup>, y <0,1 ng/m<sup>3</sup> en aire de localidades urbana, rural y remota respectivamente; <100 µg/kg en suelos basales ("background soils"); <0,1 µg/L en agua potable; 0,5-3,3 ng/L en agua de los Grandes Lagos (Great Lakes); y 0,5 µg/g en peces de agua fresca.

### **7.2.1. DESTINO AMBIENTAL**

El destino y el transporte de los PCBs en el medio ambiente está influenciado por procesos físicos, químicos y biológicos. Las tendencias y velocidades a las cuales ocurren estos procesos dependen de las propiedades físicas y químicas de los PCBs individuales y de las condiciones específicas del sitio. Los procesos de destino y transporte incluyen, pero no están limitados a los siguientes:

---

[51] IPCS, WHO, UNEP, ILO, 1993.

[52] US EPA (2000).

- a. Procesos físicos de pérdida, tales como sorción y volatilización;
- b. Procesos de transporte, tales como dilución, advección, y dispersión;
- c. Procesos químicos, tales como hidrólisis, fotólisis, reacciones ácido-base, y pares iónicos o complejos; y
- d. Degradación por procesos microbiológicos aeróbicos y anaeróbicos.

Las propiedades de las mezclas comerciales de PCBs que afectan su destino en el medio ambiente, incluyen la solubilidad en agua, presión de vapor, constante de la Ley de Henry, coeficiente de distribución del carbono orgánico ( $K_{OC}$ ) y el coeficiente de partición octanol-agua ( $K_{OW}$ ). La Tabla 2.5. del Capítulo 2, sobre antecedentes generales, presenta datos de estos parámetros en diferentes mezclas de Aroclor.

Tal como se demuestra en los datos presentados en dicha Tabla, los PCBs son relativamente insolubles en agua y los congéneres con alto contenido de cloro tienden a ser mas insolubles. En contraste, los PCBs son altamente solubles en lípidos biológicos y han sido encontrados acumulados en tejidos humanos y animales. Los factores de bioconcentración (FBC), están en el rango de 26.000 a 660.000. Los valores de  $K_{OC}$  para PCBs indican que son adsorbidos rápidamente en materiales orgánicos tales como sedimentos y suelos, aumentando ésta con el contenido de cloro en la mezcla y el contenido orgánico en el medio ambiente. Aunque los PCBs tienen presiones de vapor relativamente bajas, son capaces de volatilizar a la atmósfera, particularmente desde el agua. La biodegradación por dechloración es lenta, así como los otros procesos de ruptura, fotólisis y degradación química. Los procesos de transformación de PCBs en agua y en aire varían entre <1 día y 210 días, dependiendo del patrón de sustitución de Cloros y las condiciones ambientales. Como resultado, los PCBs son esparcidos en el medio ambiente, detectándose en muchos tipos de medios ambientales, incluyendo aire, agua, sedimento, suelo y alimentos.

### 7.2.2. TRANSPORTE DE PCBs EN AIRE

La distribución de PCBs por todo el mundo incluyendo el Ártico y áreas remotas, sugiere que los PCBs son transportados en el aire, debido a su capacidad de co-distilar, volatilizar desde sitios de disposición final hacia la atmósfera (adsorción a aerosoles con tamaño de partícula menor a  $0,05 - 20 \mu\text{m}$ ) y resistir la degradación a bajas temperaturas de incineración, hace que el transporte atmosférico sea la primera forma de distribución global entre la tropósfera y estratósfera. Algunos autores han sugerido que muchos de los PCBs en material particulado son adsorbidos sobre algunas partículas presentes. La vida media de las partículas en el aire depende fuertemente del tamaño de las partículas y del alcance de la precipitación atmosférica. Muchas serán depositadas dentro de los 2-3 días en su áreas de origen (usualmente urbana), una pequeña cantidad unida a las partículas finas va a permanecer en la atmósfera por largos períodos y pueden ser transportadas hacia regiones mas remotas.

Harvey & Steinhauer midieron PCBs en la atmósfera sobre el Atlántico Nor-Oeste, encontrando que las concentraciones disminuyen exponencialmente con la distancia desde el suelo y concluyeron que el transporte por el viento es el principal medio de transporte sobre los océanos. Sugirieron además que los PCBs son transportados inicialmente en fase vapor. Esta sugerencia es respaldada por Murphy (1984), quien revisó los datos de la región de los Grandes Lagos sobre la distribución relativa de aerosoles de PCBs entre el material particulado y el vapor, y concluyó que ellos se transportan predominantemente en el vapor.

Se han medido (IPCS, 1993) PCBs en muestras de aire en Eniwetok Atoll en el Océano Pacífico Norte, sobre el Océano Atlántico Norte y en el Golfo de Méjico. Se ha estimado que aproximadamente 18.000 Kg de PCBs están presentes en la atmósfera sobre Estados Unidos en todo momento, y que si estos PCBs tienen un tiempo de residencia en la atmósfera de una semana, entonces alrededor de 900.000 Kg/año de PCBs ciclan a través de la atmósfera de Estados Unidos.

## Deposición seca

El ingreso atmosférico de PCBs en los Grandes Lagos (Great Lakes) de Estados Unidos ha sido estudiado extensamente, debido a que éstos como un todo, representan el área superficial mas extensa de un cuerpo de agua en el mundo, con la superficie de agua comprendiendo desde un 27% (Ontario) a 64% (Superior) del total del área de base y variando desde 19.000 Km<sup>2</sup> (Ontario) a 82.100 Km<sup>2</sup> (Superior). Eisenreich et al (1981) estimaron que mas del 80% del ingreso total promedio anual de PCBs en el Lago Michigan se origina desde la atmósfera y que alrededor del 56% de 9.000 Kg/año de PCB que ingresan al Lago Michigan es en forma de deposición húmeda; y que el 30% de 6.600 a 8.300 Kg/año que ingresan al Lago Superior es también en esta forma. Sin embargo, Andren (1982) calculó un ingreso por precipitación de 650 Kg/año para el Lago Michigan, asumiendo nuevamente que todos los PCBs fueron partículas aerosoles de 0,5 µm.

Manchester-Neesvig & Andren (1989) colectaron y analizaron muestras de aire de regiones remotas en la cuenca de los Grandes Lagos durante 1984 y 1985. Las concentraciones totales de PCBs variaron entre 1,82 ng/m<sup>3</sup> en verano y 0,135 ng/m<sup>3</sup> en invierno. Encontraron que en promedio, el 92 % de los PCBs estaban en fase vapor. Al comparar estos datos con los colectados durante los 7 años previos, no encontraron cambios significativos en las concentraciones de PCBs, concluyendo que, sobre la base del corto período de residencia y los niveles de PCBs promedio anuales relativamente constantes, tiene lugar un ciclo entre la tierra y la atmósfera.

Duinker & Bouchertall (1989) analizaron 14 congéneres de PCBs en aire filtrado, material particulado y lluvia en Kiel (República Federal de Alemania), encontrando que los congéneres con bajo grado de cloración predominaban en el aire filtrado, mientras que aquellos con alto grado de cloración predominaban en material particulado y lluvia.

## Deposición por precipitación

El barrido por precipitación de hidrocarburos clorados en la atmósfera es complejo (Murphy, 1984). Hay barrido de partículas por gotitas de nubes y por gotas de lluvia en y bajo las nubes, produciéndose el barrido de la fase vapor por la lluvia. Así los hidrocarburos clorados son concentrados en la precipitación mas que en la atmósfera, resultando en niveles de lluvia de algunos ng/litro. Swain (1978) y Strachan & Huneault (1979) midieron niveles de lluvia entre 0 (no detectable) y 230 ng/litro en el área de los Grandes Lagos.

Según Murphy (1984), variables tales como la cantidad de material particulado y los PCBs en la atmósfera, tipo y velocidad de lluvia, afectan la precisión de la estimación de precipitación.

## Niveles de PCBs en aire

En general, los niveles de PCBs en aire difieren marcadamente de una localidad a otra, con niveles menores sobre los océanos o regiones no industrializadas. Los niveles sobre áreas y rellenos sanitarios son los mas elevados. Aparentemente, estos niveles influyen sobre los niveles en agua de lluvia y hay una gradiente de valores en aire desde áreas industriales a rurales. La siguiente Tabla 7.2. presenta algunos valores típicos de concentraciones de PCBs en aire de diferentes localidades.

**Tabla 7.2.** Niveles de PCBs en aire en varios países [Ref. IPCS, 1993]

País	Localización y/o tipo de muestra	Niveles de PCBs, promedio y/o rango
Canadá	Territorios del Nor-Oeste	0,002 - 0,07 ng/m <sup>3</sup>
Alemania	Area industrial Área no contaminada	3,3 ng/m <sup>3</sup> 0,003 ng/m <sup>3</sup>
Japón	Dentro de plantas industriales: - Vapores de PCBs - PCBs en partículas de aerosol Océanos Pacífico Norte, Pacífico Sur, Índico, Antártico y Atlántico Sur	13 - 540 µg/m <sup>3</sup> 4 - 650 µg/m <sup>3</sup> 0,1 - 0,3 ng/m <sup>3</sup> 0,5 ng/m <sup>3</sup>
Océano Atlántico Norte		
Suecia	Varios lugares	0,8(*) - 3,9 ng/m <sup>3</sup>
Estados Unidos	Cerca de la costa Noreste Sobre el Océano Atlántico, a 200 Km de complejo industrial Varios lugares	5 ng/m <sup>3</sup> 0,05 ng/m <sup>3</sup> 1 - 50 ng/m <sup>3</sup>
Yugoslavia	Bela Krajina: - a 300 m de una planta industrial - aire cercano a un relleno sanitario de residuos - sobre el Río Kruga	4 - 7 µg/m <sup>3</sup> 45 µg/m <sup>3</sup> 2 - 5 µg/m <sup>3</sup>

(\*) Límite de determinación.

### 7.2.3 TRANSPORTE DE PCBs EN SUELO

Los PCBs en suelo provienen del depósito de material particulado (a veces concentrado en áreas urbanas) o por deposición húmeda; también pueden provenir de emisiones directas de fuentes puntuales, tales como el uso de lodos como fertilizantes y lixiviación desde sitios de disposición final. Su presencia y comportamiento en el suelo, depende de las características específicas de la sustancia (congéneres) y de ciertos parámetros del suelo. Los procesos de sorción y condensación en el suelo también juegan un rol en la remoción de PCBs. La siguiente Tabla 7.3. presenta valores de niveles de PCBs en suelo.

**Tabla 7.3.** Niveles de PCBs en suelos, sedimentos y lodos en varios países [Ref. IPCS, 1993]

País	Localización y/o tipo de muestra	Niveles de PCBs, promedio y/o rango
Alemania	Suelo sin lodo Suelo con lodo Lodo Sedimentos de aguas contaminadas Sedimentos de varios ríos Suelo agrícola	0,02 - 0,08 mg/kg (a) 0,05 - 3,0 mg/kg (a) nd (b) - 19 mg/kg 0,1 - 1,0 mg/kg (a) 0,16 - 0,59 mg/kg 0,03 mg/kg
Japón	Suelo agrícola Suelo cercano a una fábrica de componentes eléctricos	<1 mg/kg 510 mg/kg
Holanda	Sedimentos de varias aguas superficiales	<0,01 - 1,2 mg/kg (a)
Reino Unido (Escocia)	Suelo de área de disposición de residuos con instalaciones de tratamiento e incineración Muestras de pasto de la misma área (follaje) Suelo de áreas rurales Pasto de áreas rurales Suelo de áreas urbanas Suelo de localidades industriales	4,5 - 44,8 µg/kg 2,9 - 64,7 µg/kg 8 µg/kg (a) (1-23) 9 µg/kg (a) (7-16) 52 µg/kg (11-141) 41 µg/kg (20-67)

**Tabla 7.3.** (Continuación) Niveles de PCBs en suelos, sedimentos y lodos en varios países [Ref. IPCS, 1993]

País	Localización y/o tipo de muestra	Niveles de PCBs, promedio y/o rango
Reino Unido (Gales)	Suelo superficial	2,5 µg/kg (0,2-12,2)
Estados Unidos (Florida)	Sedimentos cerca de un punto de liberación accidental de PCBs	1,4 – 61 mg/kg
Río Escambia	Sedimentos a 16 km aguas abajo de este punto	0,6 mg/kg
Bahía Escambia	Muestras de suelo de un banco, 6,5 km aguas abajo de este punto	1,4 – 1,7 mg/kg

(a) Peso seco.

(b) No detectable.

Asimismo, Fujiwara (1975) analizó muestras de suelo en Japón y encontró que las principales fuentes de contaminación por PCBs en suelos agrícolas, eran las industrias que utilizan PCBs. Otras fuentes incluyen la contaminación de suelo con lodos de alcantarillado y derrames accidentales. Tucker et al (1975) encontraron que durante un período de 4 meses siguientes a la adición de Aroclor 1016 al suelo, los PCBs no lixiviaron rápidamente por el agua de precolación y que solamente los isómeros menos clorados lixiviaron.

#### 7.2.4. TRANSPORTE DE PCBs EN AGUA

Los PCBs ingresan al agua principalmente desde puntos de descarga de residuos industriales y urbanos en ríos, lagos y aguas costeras. En agua estática, los PCBs se concentran mayormente en las muestras de microcapa superficial que en la subsuperficial, debido probablemente al depósito desde el aire mas que a la redistribución en el agua. En consideración a su baja solubilidad en agua y a su alta actividad específica, es esperable que muchos de los PCBs descargados sean adsorbidos por el sedimento en el fondo de los ríos o lagos y el transporte será principalmente vía partículas acuáticas.

# CAPÍTULO 8

## Técnicas de análisis químico de PCBs

Para el análisis de aceites de transformadores existen diversos métodos, de los cuales hemos seleccionado aquellos sugeridos por agencias ambientales u organismos internacionales, los cuales se describen brevemente a continuación, indicándose además las referencias bibliográficas de cada uno.

### 8.1. MÉTODO DE SCREENING PARA PCBs EN ACEITE DE TRANSFORMADOR [Ref. US EPA, 1996; UNEP Chemicals, IOMC, 1999]

Este método utiliza el estuche de ensayo colorimétrico (Colorimetric Test Kit) **Clor-N-Oil**®<sup>[53]</sup>, (Dexil Corporation, One Hamden Park Drive, Hamden, CT) u otro equivalente<sup>[54]</sup> y puede utilizarse para identificar (“screening”) bifenilos policlorados (PCBs) en fluidos aislantes eléctricos en base a hidrocarburos, presentes en concentraciones de 20, 50, 100, o 500 mg/g. El método provee datos preliminares fuera de un ambiente de laboratorio en menos de 10 minutos, proporcionando una indicación colorimétrica para la concentración de PCBs sobre o bajo el punto final establecido, de acuerdo a una calibración con Aroclor 1242.

Este método de ensayo preliminar detecta los iones cloruro removidos de la molécula de PCBs por medio de un indicador colorimétrico consistente en un reactivo orgánico con sodio.

#### Modo de operación del indicador colorimétrico

La muestra de aceite en la cual se desea evaluar su contenido de PCBs, se hace reaccionar con una mezcla de sodio metálico catalizado con naftaleno y diglima a temperatura ambiente, de modo que se convierten todos los halógenos orgánicos en sus respectivos haluros de sodio. Todos los haluros en la mezcla tratada, incluyendo aquellos presentes en forma previa a la reacción, son luego extraídos en un tampón (“buffer”) acuoso, se agrega una cantidad medida previamente de nitrato de mercurio, seguida por una solución de difenilcarbazona como indicador.

El color de la solución al final del ensayo (“test”) indica si la muestra está sobre o bajo el nivel de cloro presente. Un punto final amarillo indica una concentración mayor que la del punto fijado (“set point”) del ensayo, y un punto final azul-violeta indica una concentración menor que la del punto final del ensayo.

El punto final al cual cada uno de los ensayos (“tests”) se torna positivo, es calibrado utilizando estándares de Aroclor 1242, el cual provee de un punto final estable debido a su bajo contenido de cloros en relación a otros Aroclor utilizados en equipos eléctricos. El utilizados en equipos eléctricos y la concentración de PCBs que otorga la indicación positiva con el set de ensayo (“Test Kit”) de 50 µg/g se presentan en la Tabla 8.1 a continuación.

[53] Mayor información respecto de este set de detección de PCBs en muestras de aceites, puede obtenerse visitando el sitio de Internet <http://www.dexsil.com> (UNEP, IOMC, 1999).

[54] Cada set de pruebas disponible comercialmente, provee o especifica los aparatos o materiales o reactivos necesarios para la ejecución y finalización exitosa del ensayo

**Tabla 8.1.** Concentraciones de PCBs en Clor-N-Oil

Aroclor	Concentración
1242	21,2
1242	45,0
1254	26,3
1254	50,0
1260	8,2
1260	50,0

### Interferencias del método

El agua presente en la muestra en cantidad superior al 2% puede causar una lectura baja, debido a que se produce un cambio en la reacción con el sodio y el usuario debe detener el ensayo.

Niveles altos de sulfuro (4%) causa un alto bias que puede resultar posiblemente en una lectura de un falso positivo. La muestra además huele fuertemente a sulfuro después de la reacción con sodio.

Cualquier cloro presente en la muestra será medido posiblemente como PCB, resultando en un falso positivo si la concentración total de cloro no perteneciente a PCB en la muestra, es mayor que la presente en el punto final del kit.

### Toma, preservación y manejo de muestras

Las muestras de aceite pueden estar contaminadas, y por lo tanto deben ser consideradas como peligrosas y manipuladas adecuadamente. Todas las muestras deben ser colectadas utilizando un plan de muestreo que considere las recomendaciones del Capítulo 7.8. sobre muestreo.

## 8.2. DETERMINACIÓN DE PCBs EN OTRAS MATRICES

Las técnicas para la determinación de PCBs en otras matrices, se pueden encontrar en las siguientes referencias:

1. US EPA Method 9079, "Screening Method for Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil", Revision 0, December 1996.
2. US EPA Method 9078, "Screening Test Method for Polychlorinated Biphenyls in Soil", Revision 0, December 1996.
3. US EPA Method 8082A, "Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography", Revision 1, January 1998.
4. US EPA SW-846 Methods. Chapter 4 "Organic Analytes". Revision 3. December 1996.
5. US EPA Compendium Method TO-4A, "Determination of Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Ambient Air Using High Volume Polyurethane Foam (PUF) Sampling Followed by Gas Chromatographic/Multi-Detector Detection (GC/MD)". Second Edition, January 1999.

# CAPÍTULO 9 Emergencias con PCBs

En una emergencia con PCBs, es importante conocer su clasificación para enfrentar estas situaciones. De acuerdo a la normativa nacional, los Bifenilos Policlorados, PCBs, se encuentran clasificados como Sustancias Peligrosas en la Norma Chilena NCh 382 [55] con las siguientes especificaciones:

Sustancia u objeto		Riesgo	Números		
Número N.U.	Nombre y descripción	Clase o División	D.O.T.	GRENA	I.M.D.G.
2315	Difenilos Policlorados	9	31	171	9034

Donde:

**Número N.U.:** corresponde al número de referencia de Naciones Unidas, dado por el Comité de expertos [56]

"2315": corresponde a "Bifenilos Policlorados". Según la NCh 2190, "Sustancias peligrosas - Marcas para información de riesgos", corresponde el siguiente Rótulo de Identificación:



**Nombre y descripción:** Nombre de la sustancia u objeto y breve descripción de la forma en que se presenta en la práctica. Rotulo de Identificación,

**Clase o División:** Cifra que indica la Clase de riesgo y/o División dentro de Clase.

"Clase 9": corresponde a la Clase "Sustancias peligrosas varias", i.e. sustancias que presentan un riesgo distinto a los correspondientes a las demás Clases. La siguiente figura presenta el Rombo de Clasificación, según la NCh 2190 "Sustancias peligrosas - Marcas para información de riesgos".



D.O.T.: Cifra que corresponde a la ficha con recomendaciones para el tratamiento de emergencia, incluidas en el documento D.O.T. P 5 800.4. (Emergency Response - Guidebook for Hazardous Materials Incidents, Department of Transportation, D.O.T., P 5 800.4, 1987).

[55] NCh 382 "Sustancias Peligrosas - Terminología y Clasificación", Instituto Nacional de Normalización, INN.

[56] "Transporte de Mercancías Peligrosas", Recomendaciones preparadas por el Comité de Expertos de las Naciones Unidas en el Transporte de Mercancías Peligrosas; Naciones Unidas, Nueva York, 1994 (Publicación N° S.93. VIII.1; ISBN 92-I-339014-9; ISSN 1014-57696).

**GRENA:** Cifra que corresponde a las Guías con recomendaciones para el tratamiento de emergencia del documento GRENA 1996, Guía Norteamericana de Respuesta en Caso de Emergencia, Departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración de Estudios y Programas Especiales.

"171": corresponde a la Guía de respuesta de emergencias número 171, de "SUSTANCIAS (Peligro de Bajo a Moderado)".

**I.M.D.G.:** Cifra que corresponde a una ficha del documento I.M.D.G. Code, para transporte marítimo [57]

"9034": corresponde a la Ficha número 9034.

## 9.1. ACCIONES BÁSICAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES DE PCBs

Para lograr comprender este Capítulo, es necesario entender las complicaciones que pueden traer los incidentes que involucren PCBs. El manejo de estas sustancias en situaciones de emergencias se asocia al control general de derrames de líquidos peligrosos.

A continuación se proporcionan nociones básicas de control de emergencias y herramientas simples de comprensión de las magnitudes y consecuencias que se puedan traducir de un derrame de PCBs.

Toda manipulación de productos químicos debe realizarse con la mayor responsabilidad. Las consecuencias que ocurra, producto de un error en la manipulación de sustancias peligrosas, sin duda traerán grandes pérdidas para la empresa o incluso podrían provocar pérdidas personales.

Las precauciones asociadas al manejo de PCBs se pueden resumir en:

- El lugar que se utilice para almacenar los componentes que contengan PCBs deberá cumplir con las normativa nacional para el almacenaje de líquidos peligrosos y utilizaran las normas nacionales de señalización. Estas señalizaciones deben estar a la vista desde cualquier punto del patio de almacenaje y podrán repetirse cuantas veces sea necesario para cumplir con lo antes expuesto.
- Las áreas de tránsito junto a los recipientes contenedores de PCBs deben ser restringidas y solo permitir el acceso con la autorización responsable del encargado del patio de almacenaje.
- No debe permitirse el uso de llamas abiertas cerca de los contenedores, faenas de soldadura o similares, menos aun fumar cerca del patio de almacenaje.
- Es recomendable que los recipientes que se utilicen para a almacenar PCBs sean de un mismo tipo y de características similares (ver disposiciones de SESMA para el almacenamiento de PCBs en Capítulo 6.1.)

**DEBE CONSIDERARSE UNA EMERGENCIAS CON PCBs,  
CUANDO CUALQUIER CANTIDAD DE ESTE PRODUCTO  
QUEDE EXPUESTO AL AMBIENTE EN UN MOMENTO DADO.**

[57] Organización Marítima Internacional, IMO; "Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, IMDG"; 1996 (ISBN 92-801-3503-1).

## 9.2. ETAPAS DE UNA EMERGENCIA

1. **INCUBACIÓN:** Es cuando por alguna acción o condición insegura, existe la probabilidad que se produzca un accidente.
2. **MANIFESTACIÓN:** Es cuando el accidente ya se produjo y puede traer como consecuencias pérdidas humanas y/o económicas.
3. **DETECCIÓN:** Un evento conocido como accidente se logra detectar por personas, que en este caso pueden ser las propias víctimas o individuos que circulan por las inmediaciones de la emergencia, y que alertan al sistema de emergencia.
4. **CONFIRMACIÓN:** Este término corresponde cuando los individuos realmente se encuentran seguros de que existe un accidente, con probables pérdidas humanas y/o económicas. Se deben alertar a los servicios de urgencia locales (Bomberos, Carabineros, Autoridades Ambientales, Salud, etc.).
5. **ALARMA:** El concepto de alarma en el diagrama de una emergencia corresponde al aviso de socorro propiamente tal. Avisar a quien corresponda para el tratamiento de la emergencia.
6. **ACTIVACIÓN DE RECURSOS:** cuando se ha dado alguna alarma vía telefónica, radial o por otro medio, en donde las diferentes instituciones que responden a las emergencias se alertan y concurren al lugar del accidente.
7. **MOVILIZACIÓN DE RECURSOS:** Corresponde a la movilización de las diferentes unidades de respuesta ya sea de la propia empresa o externas.

**EN EL LUGAR DE LA EMERGENCIA,  
SE DEBE REALIZAR EL CONTROL DE ESTA, REDUCIR EL DAÑO AMBIENTAL  
Y RECUPERAR EL NIVEL OPERACIONAL**

## 9.3. DERRAMES MENORES DE PCBs

En los derrames menores de PCBs, esto es cuanto el líquido vertido tiene un volumen inferior a 10 litros, es necesario que el personal que atiende la emergencia cuente con los siguientes equipos básicos de protección personal y equipos a utilizar:

Equipos básicos de protección personal

- Mascara de cara completa con filtro prescrito o Equipo de respiración auto contenida.
- Casco de seguridad
- Botas de goma
- Guantes de PVC
- Traje de cuerpo completo de PVC, de alta resistencia mecánica.



### Materiales a utilizar

- Material absorbente (aserrín, arena, almohadillas absorbentes)
- Pala de plástico o antichispa
- Escobillones de cerda gruesa
- Baldes con arena
- Tapones madera de diferentes medidas
- Martillos de goma
- Mangas de Nylon



#### 9.3.1. PROCEDIMIENTO PARA DERRAMES MENORES

Una vez detectado el derrame y los pasos recomendados a seguir son:

- Dar la alarma a los equipos de respuesta: corresponde a la activación de Plan de Emergencia de la empresa, que supone la movilización de los recursos humanos y materiales necesarios para el control de emergencia, ya sea internos o externos al recinto amagado.
- Delinear un perímetro de seguridad: determinado por el centro del derrame, incluyendo el diámetro total del líquido, más 20 metros.
- Predeterminar zona de seguridad: zona que se dispondrá exclusivamente para que los operadores de emergencias la utilicen como centro de comando, instrucciones y descanso.
- Determinar la verdadera magnitud del suceso: determinar los diámetros y perímetros que alcanza el derrame, establecer la cantidad de materiales a utilizar, las posibilidades de aumento, evaluar las consecuencias con y sin intervención.
- Estación de descontaminación: en este lugar, apartado de la zona de seguridad, se dispondrá de un sistema de descontaminación para emergencias químicas.

#### 9.3.2. TRABAJO A REALIZAR

Se debe realizar un dique que sea capaz de contener el avance del líquido, desde el origen del derrame. Si la fuga es sobre un piso impermeable, el dique deberá levantarse en la zona de baja pendiente y con altura suficiente para contener todo el material.

Paralelamente se debe determinar el origen del escurrimiento, evaluar la forma de controlarlo y proceder con todos los elementos técnicos posibles a su control.

La fuga deberá sellarse utilizando tapones, sellos químicos auto endurecedores, o bandas elásticas. La mejor solución dependerá del tipo de fuga u orificio y la decisión será tomada por el técnico a cargo de la situación, con aprobación de las autoridades que se encuentren en el lugar. Una vez reparado el escape, todo el contenedor original deberá ser sellado con mangas plásticas para evitar que los residuos acumulados en su exterior causen alguna contaminación y resguardar que la reparación realizada no falle.



En el derrame, utilice materiales absorbentes para remojar todo el líquido acumulado. En este proceso se debe utilizar la suficiente cantidad de material a granel (arena, aserrín, etc.) para dar como resultado un pasta homogénea fácil de recoger con palas. Si se utilizan almohadillas especiales se debe cubrir toda la superficie y repetir el procedimiento cuantas veces sea necesario, hasta asegurar el máximo de absorción posible.



### 9.3.3. DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

La arena o aserrín que se utilizó para remojar el PCB derramado, debe recogerse utilizando herramientas adecuadas y tomando las medidas necesarias para evitar que el producto se propague a zonas no contaminadas por medio de goteos o derrames menores.

El material remojado debe ser dispuesto en recipientes estancos. Se recomienda no llenar completamente los recipientes, y dejar vacío al menos un 20% del espacio de cada uno. Esto tiene por objeto evitar rebalses, alivianar su transporte y facilitar su maniobrabilidad.

La arena, aserrín u otro medio utilizado para construir el dique de contención, deberá ser removido siguiendo los mismos pasos y precauciones que si se tratase de material remojado, y se deberá disponer de la misma forma, en contenedores adecuados.

Si el derrame ocurre sobre tierra o vegetación, es necesario extraer al menos el equivalente al radio que ocupara el líquido y con una profundidad mínima de 30 cm. En todo caso, es necesario remover tanta tierra como profundidad haya alcanzado el aceite.

El líquido residual que se encuentre en el interior del contenedor original, deberá drenarse a un recipiente de seguridad una vez haya terminado todo el procedimiento de emergencia.

### 9.3.4. DESCONTAMINACIÓN

Todo lugar o elemento que haya entrado en contacto con PCBs debe ser sometido a un proceso de descontaminación. Para el caso de pisos de cemento, impermeables, etc. el lavado debe realizarse con un **solvente orgánico**, repitiendo el procedimiento de recuperación de líquidos antes descrito. Si el derrame ocurrió sobre tierra, cursos de agua, en general cualquier terreno que no haya sido especialmente preparado y diseñado para el almacenaje de estas sustancias, se debe tener especial cuidado de recuperar todo el material que haya entrado en contacto con ellas. Los líquidos, elementos y materiales resultantes de esta operación serán considerados como residuos de la emergencia, por lo que tienen que ser recuperados y almacenados en la bodega de PCBs y sumados a la lista de disposición final de este contaminante.

Todo material o equipo que entre en contacto con PCBs (botas, guantes, trajes, etc.) deberá considerarse material contaminado y se debe disponer como residuos de la operación.

Las herramientas utilizadas en el proceso pueden lavarse con un solvente orgánico y volver a su utilización rutinaria, sin embargo los líquidos resultantes de este proceso tienen que ser dispuestos como material residual.



En general todo equipo de protección personal deberá ser lavado antes de ser retirado del cuerpo del operador. La finalidad es evitar que el material concentrado que se ha adherido a las ropas, entre en contacto con la piel y ojos de los trabajadores. Una vez terminado el proceso principal de descontaminación, serán desvestidos por terceros que, utilizando guantes, dispondrán de estos elementos en recipientes de seguridad.

### 9.3.5. INFORMACIÓN A LAS AUTORIDADES

Para todo evento o emergencia, es necesario dar aviso a la autoridad ambiental competente durante el proceso de control de la emergencia. Terminado el procedimiento, el representante legal de la empresa deberá informar la CONAMA Regional que corresponda de los hechos ocurridos incluyendo:

- Una investigación formal de accidente
- Estudio o informe de consecuencias (contaminación, pérdidas materiales, humanas, etc.)
- Los permisos y autorizaciones necesarias para el almacenaje de PCBs.

## 9.4. DERRAMES MAYORES A 10 LITROS

El procedimiento es similar al expuesto en la sección de derrames menores, sin embargo en esta ocasión es necesario activar a las Unidades de Respuesta a Emergencias con Materiales Peligrosos de Bomberos, autoridades comunales y regionales, Carabineros, etc. Estas instituciones asumirán el comando del incidente y aplicaran todas las medidas de seguridad que correspondan. La empresa amagada por el incidente, deberá contar con el suficiente material para construir los diques de contención, el proceso de absorción y recipientes de disposición.

## 9.5. INCENDIOS

Los humos producidos de la combustión de elementos que contengan Bifenilos Policlorados pueden presentar altas concentraciones de dioxinas y furanos, producto de la descomposición de los PCBs.

En general, los Bifenilos Policlorados no son materiales que puedan considerarse inflamables o de fácil combustión, sin embargo los elementos secundarios liberados (dioxinas y furanos) contienen un alto potencial contaminante.

Si se presenta un incendio de pequeñas proporciones, se debe procurar utilizar todos los medios básicos con que cuente la empresa para el control de incendios. Los procedimientos deben estar detallados en el plan general de emergencias de la propia empresa.

### 9.5.1 RECOMENDACIONES GENERALES

- Verifique que el personal que trabaje en incendios utilice siempre su uniforme de bomberos completo, el equipo de respiración auto contenida se considerara un elemento obligatorio.
- Si se trata de un lugar abierto, debe acercarse al fuego a favor del viento (el viento siempre a su espalda), evitando en todo momento entrar en contacto con el humo.
- Dé preferencia al uso de materiales extintores como el CO<sup>2</sup> o PQS; en lo posible evite el agua si es que no existe un pretil o sistema de contención de riles que sea capaz de contener todo el residuo que se generará. Si solo tiene agua como medio extintor úsela racionalmente, la alta presión del agua podría esparcir aun más el PCBs que se hubiese derramado.

**EN TODO EVENTO QUE EXISTA FUEGO, CUALQUIERA SEA SU MAGNITUD,  
SE DEBERÁ ALERTAR EN FORMA PRIORITARIA A BOMBEROS,  
CARABINEROS Y AUTORIDADES AMBIENTALES.**

# CAPÍTULO 10 Referencias

1. AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Programme; Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report; Oslo, Norway, 1997. "AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutions in the Arctic".
2. Benner Ludwig. DECIDE. in Hazardous Material Emergencies. Fire journal. National Fire Protection Association, Quincy, Ma. 1998.
3. Budavari, Susan (Editor); "The Merck Index"; 12th Edition, Merck & Co., Inc., Whitehouse Station, NJ, 1996.
4. CENMA, JICA; "Informe Final - Caracterización de Bifenilos Policlorados (PCBs) en Atmósfera Urbana de la Región Metropolitana de Chile". Diciembre 2001.
5. CONAMA, CONAMA RM, SESMA, CONAMA RM, Servicio de Salud de Antofagasta; "Informe Final - Catastro preliminar de PCBs en las regiones Segunda y Metropolitana"; Santiago, Abril 2000.
6. CONAMA, CENTRO EULA-Chile Universidad de Concepción; "Informe Final - Diagnóstico Nacional de Contaminantes Orgánicos Persistentes"; Concepción, Mayo 2001.
7. CONAMA, CENMA; "Informe Final - Levantamiento de información para la Implementación del Convenio Sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)"; Santiago, Diciembre 2001.
8. CONAMA; "Marco jurídico para la gestión ambiental de las sustancias químicas peligrosas"; 2000. (ISBN N° 956-7204-21-7)
9. Departamento de Salud Nueva Zelanda; "Manejo Seguro de los BPC - Código de Prácticas"; 1988.
10. Di Toro, D. and Hellweger, F.; "Long-range Transport and Deposition: The Role of Henry's Law Constant"; International Council of Chemical Associations. 1999.
11. Dunnivant and Elzerman (1988); Chemosphere, 17 (3): 525-541.
12. ECETOC 1996. The role of bioaccumulation in environmental risk assessment: The aquatic environment and related food webs. Brussels, Belgium.
13. FAO/UNEP, Secretaría Provisional para el Convenio de Rotterdam; "Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional"; 1998.
14. FAO/UNEP Joint Programme for the Operation of Prior Informed Consent; "Decision Guidance Documents - Polychlorinated Biphenyls"; 1999.
15. Fiedler, H.; "Polychlorinated Biphenyls (PCB)"; Bavarian Institute for Waste Research-BifA GmbH, IRPTC, Germany; 1997.
16. Fiedler, H.; Universidad de Bayreuth, Alemania; "Bifenilos Policlorados (BPC): Usos y emisiones medioambientales"; PNUMA/IFCS; "Memorias del Taller Subregional de Sensibilización sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes", Puerto Iguazú, Abril 1998".
17. Fiedler, H.; Universidad de Bayreuth, Alemania; "El manejo seguro de Bifenilos Policlorados (BPC); PNUMA/IFCS; "Memorias del Taller Subregional de Sensibilización sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), Puerto Iguazú, Argentina, Abril 1998".
18. Gan, D.R. and Berthouex, P.M. Disappearance and crop uptake of PCBs from sludge-amended farmland. Water Environ. Res. 66: 54-69. 1994.
19. Gobas, F.A.P.C., and D. Mackay. 1987. Dynamics of hydrophobic organics chemicals in fish. Environ. Toxicol. Chem. 6:495-504.
20. Harte, J.; Holdren, C.; Schneider, R.; Shirley, C.; "Guía de las sustancias contaminantes"; Grijalbo (1995).
21. Hawker, D.W. (1989); Environ. Sci. Technol., 23: 1250-1253.

22. Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile, Norma Chilena Oficial NCh 382.Of98, "Sustancias Peligrosas - Terminología y Clasificación"; 1998.
23. Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile, Norma Chilena Oficial NCh 2190.Of93, "Sustancias Peligrosas - Marcas para la información de riesgos"; 1993.
24. IPCS/WHO/UNEP/ILO; "Environmental Health Criteria 140 - Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls (2nd Edition)"; WHO; 1993.
25. Jenson, J., Adare, K and Shearer, R. (eds) 1997. Canadian Arctic Contaminants Assessment Report. Ministry of Indian Affairs and Northern Development Ottawa, Ont.
26. Larson, R.J. and Cowan, C.E.. 1996. Quantitative Application of Biotransformation Data To environmental Risk and Exposure assessments *Env. Tox. and Chem* 14(8): 1433-1442.
27. Ministerio del Interior, Superintendencia de Servicios Eléctricos y de Gas; Resolución Exenta N° 610,3 Septiembre 1982.
28. Neumeier, G.; Federal Environmental Agency, Berlin, Germany. Presented at the Subregional Awareness Raising Workshop on Persistent Organic Pollutants (POPs), Kranjska Gora, Slovenia; May 1998. UNEP Chemicals – IOMC – IFCS. "The technical life-cycle of PCBs (Case study of Germany)".
29. PNUMA, "Texto del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes para su aprobación por la Conferencia de Plenipotenciarios"; UNEP/POPS/CONF/2; Marzo 2001.
30. PNUMA; "Acta Final de la Conferencia de Plenipotenciarios para el Convenio de Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes"; UNEP/POPS/CONF/4; Junio 2001.
31. PNUMA, Consejo de Administración, 19° Período de Sesiones; "Decisión 13C - Actuaciones Internacionales para Proteger la Salud Humana y el Medio Ambiente con Medidas para Reducir y/o Eliminar las Emisiones y Descargas de Contaminantes Orgánicos Persistentes, Incluida la Elaboración de un Instrumento Internacional Jurídicamente Vinculante".
32. Ritter, L; Solomon, K. R.; Forget, J.; "Persistent Organic Pollutants"; IPCS/IOMC; December 1995.
33. Suedel, B.C., J.A. Boraczek, R.K. Peddicord, P.A. Clifford and T.M Dillon. 1984. Trophic transfer and biomagnification potential of contaminants in aquatic ecosystems. *Rev. Environ. Cont. Toxicol* 136:21-89.
34. Thoman, R.V. 1989. Bioaccumulation model of organic chemical distribution in aquatic food chains. *Environ. Sci. Technol.* 23:699-707.
35. UNEP Chemicals, IOMC; "Guidelines for the Identification of PCBs and Materials Containing PCBs", First Issue, August 1999.
36. UNEP Chemicals, IOMC; "Survey of Current Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies", First Issue August 2000.
37. UNEP Chemicals, Secretariat of the Basel Convention (SBC), IOMC; "Inventory of World-wide PCB Destruction Capacity"; First Issue. 1998.
38. UNEP/IFCS; "Memorias del Taller Subregional de Sensibilización sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), Puerto Iguazú, Argentina, Abril 1998".
39. US EPA, Air and Toxics Division, Region 10; "PCBs In Fluorescent Light Fixtures"; 1993.
40. US EPA, "PCB Risk Assessment Review Guidance Document", January 2000.
41. US EPA Region 5 Toxics Reduction Team. 2002.
42. US EPA, Region III; "PCB Information Package, May 1995".
43. US EPA, Chemical Fate Half-Lives for Toxics Release Inventory (TRI) Chemicals; 1998.
44. WHO/EURO (1987); "PCBs, PCDDs, and PCDFs: Prevention and control of accidental and environmental exposures"; Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe (Environmental Health Series 29).

# ANEXO A Identificación de equipos y materiales que contienen PCBs

La siguiente tabla presenta los nombres comerciales, sinónimos e identificación de las empresas y/o del país fabricante de mezclas comerciales de Bifenilos Policlorados (PCBs) <sup>[58]</sup>

\* Claves: **[t]**, transformador; **[c]**, condensador; **(empresa, país)**, identificación de la empresa y/o país fabricante.

**Tabla A.1.** Nombres comerciales, sinónimos, fabricantes y país de origen de los PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

Abestol [t, c]	Askareles	Clophen – A30
Aceclor [t]	ASK (Queensboro Transf. & Mach.)	Clophen – A50
ALC (R.C. Uptegraff)	Askael	Clophen – A60
Apirolio [t, c] (Italia)	Askarel <sup>(a)</sup> [t, c] (Queensboro Transf. Co.)	Clophenharz
Apirolla	(Hevi-Duty Electric) (Ferranti-Packard Ltd.)	Clorphen [t]
Apirollo	(Niagara Transf. Corp.) (ESCO Manuf. Co.)	Cloresil
Apirorlio	(Research-Cottrell) (Universal Manuf. Corp.)	Clorextor
Apriolio [t, c]	(EEUU)	Clorinal
Arachlor	ASTM 2283	Clorinol (Sprague Electric Co.)
Areclor [t]	ASTM 2283 DG	Clorobifenilos
Arochlor [t, c]	ASTM 2283 E	Clorphen [t]
Arochlors	Auxol	Decachlorodiphenyl
Arochur	Bakola	Delor
Aroclor [t, c] (Monsanto, EEUU)	Bakola 131 [t, c]	Delorene
Aroclor B (P.R. Mallory & Co.)	Biclор [c]	Diachlor
Aroclor 1016 [t, c]	Bifenilos Policlorados	Diachlor [t, c] (Sangamo Electric)
Aroclor 1221 [t, c]	Biphenyl, chlorinated	Diaconal
Aroclor 1232 [t, c]	BPC	Dialor [c]
Aroclor 1242 [t, c]	Capacitor 21 (Monsanto, EEUU)	Dicolor
Aroclor 1248	Chlophen	Diconal
Aroclor 1254 [t, c]	Chloretole	Difenilos Policlorados
Aroclor 1260 [t, c]	Chlorextol [t] (Allis-Chalmers)	Diphenyl, chlorinated
Aroclor 1262 [t, c]	Chlorinated Biphenyl	Disconon [c]
Aroclor 1268 [t, c]	Chlorinated Diphenyl	Dk [t, c]
Aroclor 1270	Chlorinol (Sprague Electric Co.)	DK (Caffaro, Italia)
Aroclor 1342	Chlorintol	DP 3
Aroclor 2565	Chlorobiphenyl	DP 4
Aroclor 4465	Chloroextol	DP 5
Aroclor 5460	Chlorphen	DP 6.5
Arochlors	Chorextol	Ducanol
Arodor	Chorinol	Duconal
Arubren	Clophen [t, c] (Bayer, Alemania)	Duconol [c]
Asbestol [t, c] (American Corp.)	Clophen – Apirorlio	Dykanol [t, c] (Cornell Dubilier)
		Dyknol

<sup>(a)</sup> **Askarel**<sup>®</sup>: Además de ser un nombre comercial, es un término genérico utilizado para denominar a los líquidos aislantes no inflamables de transformadores y condensadores.

[58] Referencias: WHO/EURO; EHC 29 (1987). UNEP Chemicals, IOMC (1999). US EPA Region III (1995). IPCS/WHO; EHC 140 (1993). CONAMA, CONAMA RM, SESMA, SS de Antofagasta (2000). US EPA Region 5 (2002).]

**Tabla A.I.(Cont.)** Nombres comerciales, sinónimos, fabricantes y país de origen de los PCBs.

Educarel	Kennechlor (Mitsubishi, Japón) (Kanegafuchi Chem.Ind. Japón)	Pyranol [t, c] (Gral. Electric, EEUU)
EEC-18 (Power Zone Transformer) (Niagara Transformer Corp.)	Kennechlor	Pyranol 1248
Elaol (Alemania)	Kneclor	Pyranol 1254
Electrophenyl	Leromoll	Pyranol 1260
Electrophenyl T-60	Magvar (General Electric, EEUU)	Pyranol 1262
Elemex [t, c] (McGraw Edison)	MCS 1489 (Monsanto, EEUU)	Pyranol 4465
Elinol	Montar	Pyranol 5460
Eucarel (Electric Utilities Corp.)	Nepolin	Pyranol A13B3B
Fenclor (Caffaro, Italia)	Niren	Pyranol A13B3B-3
Fenchlor [t, c] (Italia)	No-Famol	Pyranol A50PS24
Fenchlor 42	NoFlamol	Pyrochlor
Fenchlor 54	No-Flamol [t, c] (Wagner, EEUU)	Pyroclor
Fenchlor 64	Non-Flammable Liquid (ITE Circuit Breaker Company)	Pyroclor [t] (Monsanto, EEUU)
Fenchlor 70	Non-Flamol	Pyrocolor
Fenocloro	Olex-sf-d	Pyronal
Firemaster FF-1	Orophene	Pyronol
Gilotherm	Oykanol	Pysanol
Hexol	PCB	Safe-T-America
Hivar [c]	PCB's	Safe-T-Kuhl
Hydol [t, c]	PCBs	Saf-T-Kohl
Hydrol	Pheaochlor	Saftkhul
Hyrol	Phenechlor	Saft-Kuhl
Hylvol (Aerovox)	Phenochlor (Prodelec, Francia)	Saf-T-Kuhl [t, c] (Kuhlman Electric)
Inclar	Phenochlor DP6	Santhosafe
Inclor (Caffaro, Italia)	Phenoclar DP6	Santothem
Inerteen [t,c] (Westinghouse, EEUU)	Phenoclor [t, c] (Prodelec, Francia)	Santhotherm
Inerteen 70-30	Phyralene	Santosafe
Inerteen 100-42	Physalen	Santosol
Inerteen 300	Plastivar	Santoterm
Inerteen 400	Polychlorinated Biphenyl	Santotherm (Mitsubishi, Japón)
Inerteen 600	Polychlorinated Diphenyl	Santotherm FR (Monsanto, EEUU)
Inerteen 54201 CM	Polychlorobiphenyl	Santovac
Inerteen 54201 K.A.	Policlorobifenilos	Santovac 1 (Monsanto, EEUU)
Inertenn	Prodelec	Santovac 2 (Monsanto, EEUU)
Kanclor (KC)	Pydraul <sup>(b)</sup> (Monsanto, EEUU)	Sauthotherm
Kanechlor [t,c] (Kanegafuchi, Japón)	Pyraclor	Sautotherm
Kanechlor (KC) [t, c] (Kanegafuchi Chemical Industry, Japón)	Pyralene [t, c] (Prodelec, Francia)	Siclonyl [c]
Kanechlor 200	Pyralene 1500	Solvol [t, c]
Kanechlor 500	Pyralene 1501	Sorol
Kanechlor 600	Pyralene 1460	Soval
Kanechlor (KC) (Kanegafuchi, Japón)	Pyralene 301 I	Sovol (Federación Rusa)
Kanechlor 400	Pyralene 3010	Sovtol
Kanechlor 500	Pyralene T1	Terphenychlore
Kannechlor	Pyralene T2	Therminal
Kenechlor	Pyralene T3	Therminol <sup>(c)</sup> (Monsanto, EEUU)
		Therminol FR
		Turbinol

(b) **“Pydraul”**: Productos previos (i.e. de la Serie A), e.g. Pydraul A-200 contenían PCBs; pero los productos comerciales comunes pertenecen a las series B, C, o D que no contienen compuestos clorados. Varios productos previos utilizados como fluidos hidráulicos, como el Pydraul A-200, fueron fabricados bajo este nombre.

(c) **“Therminol”**: Bajo este nombre fueron fabricados varios productos utilizados como fluidos de transferencia de calor, tales como el Therminol FR-0. Nota: Therminol 66 es un fluido sin PCBs.

**Tabla A.2.** Compañías fabricantes de transformadores que contienen PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

Estados Unidos	Alemania
<p>Westinghouse</p> <p>General Electric Company</p> <p>Research-Cottrell</p> <p>Niagara Transformer Corp.</p> <p>Standard Transformer Co.</p> <p>Helena Corp.</p> <p>Hevi-Duty Electric</p> <p>Kuhlman Electric Co.</p> <p>Electro Engineering Works</p> <p>R.E. Uptegraff Mfg. Co</p> <p>H.K. Potter</p> <p>Van Tran Electric Co.</p> <p>ESCO Manufacturing Co.</p>	<p>AEG (Divisiones en Alemania)</p> <p>Designación de tipo de equipo: la letra C seguida de un número de 3 o 4 dígitos establecen la capacidad de potencia.</p> <p>Trafo Union (TU)</p> <p>Designación de tipo de equipo: las letras TC seguidas de 4 dígitos. Algunos pueden tener iguales designaciones como transformadores AEG.</p>

**Tabla A.3. COMPAÑÍAS FABRICANTES Y MARCAS COMERCIALES DE CONDENSADORES QUE CONTIENEN PCBs [Ref.UNEP, IOMC (1999)].**

Nombre del producto comercial o nombre de la compañía	Fechas de producción (#)
<p><b>ASEA and SIEVERTS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de la serie en derivación; condensadores de horno Designaciones de tipos: CHA, CHF, CTDA, CKTA, CR, CRS, CPNI, CHX</li> <li>• Condensadores de alta frecuencia Designaciones de tipos: CHF-3I, CVF-3I, CVFA, CTVA, CVGA</li> <li>• Condensadores de bajo voltaje Designaciones de tipos: CLD, CLFA, CRA, CRK, CRKS, CLEOI, CLDOI</li> <li>• Condensadores especiales Designaciones de tipos: CLFL, CRU, CUD, CVH, HMRV</li> </ul>	
<p><b>SIEMENS</b> (Divisiones en Alemania)&lt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de todos los poderes para 50 Hz y sobre 1 kV (año dado por los primeros dos dígitos siguiendo la letra D del número de fabricación)</li> <li>• Condensadores de bajo voltaje Designaciones de tipos: CO, CD, 4RA, y 4RL</li> </ul>	1950 – 1975
<p><b>NOKIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de bajo voltaje (año dado por los primeros dos dígitos en el número de fabricación) y: Designación de tipo de dos letras; o A, D, E, I, O, o U como una tercera letra en la designación de tipo</li> <li>• Alto voltaje: Designación de tipo de dos letras, o I, K, O, P, S, U, o V como una tercera letra en la designación de tipo</li> </ul>	1960 – 1976  1960 - 1978
<p><b>SPRAGUE</b> (Estados Unidos)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores marcados “Chlorinol”</li> </ul> <p><b>AEG o HYDROWERK</b> (Divisiones en Alemania)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidades con fluido de impregnación marcado como: Clophen 5 CD, 4 CD, 3 CD</li> </ul>	
<p><b>ACEC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de alto voltaje Designación de tipo: CAN 50</li> </ul>	
<p><b>NATIONAL INDUSTRY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de alto voltaje Designación de tipo: FPF-U 2C-20100A03</li> </ul>	
<p><b>GENERAL ELECTRIC</b> (Estados Unidos)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de alto voltaje Designación de tipo: UNIFILM 100</li> </ul>	
<p><b>WESTIGHOUSE</b> (Estados Unidos)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de alto voltaje Designación de tipo: DV</li> </ul>	
<p><b>LILJEHOLMEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensadores de bajo voltaje Designación de tipo: DRA</li> </ul>	
<p><b>AEROVOX</b> (Estados Unidos)</p>	
<p><b>UNIVERSAL MANUFACTURING CORP.</b> (Estados Unidos)</p>	
<p><b>SPA “CONDENSATOR”</b> (Federación Rusa) Condensadores Designación de tipo: KSK</p> <p><b>CORNELL DUBILIER</b> (Estados Unidos)</p>	Durante 1988

**Tabla A.3.** (CONT.) COMPAÑÍAS FABRICANTES Y MARCAS COMERCIALES DE **CONDENSADORES** QUE CONTIENEN PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

Nombre del producto comercial o nombre de la compañía	Fechas de producción (#)
<b>P.R. MALLORY &amp; CO. INC.</b> (Estados Unidos)	
<b>SANGAMO ELECTRIC CO.</b> (Estados Unidos)	
<b>ELETRIC UTILITY CO.</b> (Estados Unidos)	
<b>CAPACITOR SPECIALISTS</b> (Estados Unidos)	
<b>JARD CORP.</b> (Estados Unidos)	
<b>YORK ELECTRONICS</b> (Estados Unidos)	
<b>MCGRAW-EDISON</b> (Estados Unidos)	
<b>RF INTERONICS</b> (Estados Unidos)	
<b>AXEL ELECTRONIC, INC.</b> (Estados Unidos)	
<b>TOBE DEUTSCHMANN LABS</b> (Estados Unidos)	
<b>CINE-CHROME LAB, INC.</b> (Estados Unidos)	

- (#) Las fechas indican solamente el período de producción del producto. Los productos pueden haber sido vendidos después del período de tiempo considerado y la re-utilización (reciclado) de aceites y otras sustancias que contienen PCBs podrían haber contaminado productos mas nuevos.

**Tabla A.4.** USOS DE LOS PCBs SEGÚN ACTIVIDAD INDUSTRIAL [Ref. UNEP, IOMC (1999)].

Actividades industriales mas probables	Aplicaciones mas comunes que contienen PCBs
<b>Servicios Eléctricos</b> (incluyendo redes de distribución)	Transformadores Condensadores grandes Condensadores pequeños Interruptores Reguladores de voltaje Cables eléctricos rellenos con líquido Balasto ("Ballasts") [a] de iluminación
<b>Interruptores de circuitos</b> (incluyendo industrias de aluminio, cobre, hierro y acero, cemento, productos químicos, plásticos, sintéticos y refinación de petróleo)	Transformadores Condensadores grandes Condensadores pequeños Fluidos de transferencia de calor Fluidos hidráulicos (equipamiento) Reguladores de voltaje Interruptores de circuitos Balasto ("ballasts") de iluminación
<b>Sistemas ferroviarios</b>	Transformadores Condensadores grandes Reguladores de voltaje Interruptores de circuitos
<b>Operaciones mineras subterráneas</b> <b>Instalaciones militares</b>	Fluidos hidráulicos (equipamiento) Transformadores Condensadores grandes Condensadores pequeños Interruptores de circuitos Reguladores de voltaje Fluidos hidráulicos (equipamiento)
<b>Edificios residenciales / comerciales</b> (incluyendo hospitales, colegios, casas, oficinas y tiendas)	Condensadores pequeños (en lavadoras, secadores de pelo, tubos de neón, lavadoras de platos, unidades de suministro de poder, etc.) Interruptores de circuitos Balastos ("Ballasts") de iluminación
<b>Laboratorios de investigación</b>	Bombas de vacío Balastos ("Ballasts") de iluminación fluorescente Condensadores pequeños Interruptores de circuitos
<b>Plantas de fabricación de artículos electrónicos</b>	Bombas de vacío Balastos ("Ballasts") de iluminación Condensadores pequeños Interruptores de circuitos
<b>Instalaciones de descarga de residuos líquidos</b>	Bombas de vacío Motores de pozo ("well motors")
<b>Estaciones de servicios de automóviles</b>	Aceite re-utilizado
<b>Rellenos sanitarios</b> (incluyendo sitios de residuos industriales y municipales)	Equipo decomisado Demolición de edificios Pelusa ("Fluff") Balasto ("Ballast")

[a] : Ballasto ("Ballast"): es un dispositivo de control que se encuentra dentro de equipos de iluminación fluorescente y otros como equipos de iluminación de mercurio, sodio y neón. Está compuesto de un pequeño transformador, un pequeño condensador y un interruptor de corte térmico. El condensador es la única parte que puede contener PCBs.

**Tabla A.5.** RESIDUOS QUE CONTIENEN PCBs [Ref. UNEP, IOMC (1999), Fuentes: Dobson and van Esch 1993; Durfee 1976; Franklin Associates 1984; ICF 1989a].

Actividad / Fuentes	Sitios mas probables
Pelusa ("Fluff")	Rellenos sanitarios (Municipales industriales)
Producción inadvertida en industrias químicas	Sitios de disposición de residuos industriales Flujos de residuos industriales
Dragado de navíos	Cuerpos de agua dragados y sus sedimentos
Transferencia de derrames <sup>[a]</sup>	Suelo o agua cercanos a rellenos sanitarios y sitios industriales y a lo largo de caminos entre ellas.
Accidentes / Fuegos	Redes de distribución de poder (e.g. transformadores) Sitios industriales Materiales de edificios quemados
Agua de enfriamiento, o condensado, de bombas de vacío	Sitios de descarga de agua y fugas.
Residuos de limpieza de pisos y equipos	Rellenos sanitarios Sitios vertidos industriales
Reparación o decomiso de equipos	Suelos de negocios de reparación Sitios de disposición de residuos Sitios de reparación o decomiso de equipos Suelos de instalaciones industriales
Demolición de edificios	Rellenos sanitarios Sitios de disposición industrial
Varias operaciones de reciclaje	Aceite reciclado en equipos Plantas industriales Formulaciones plaguicidas Formulaciones de jabones blandos Tuberías de gas natural (desde los compresores) Estaciones de servicio de automóviles

[a] Puede tener lugar un derrame de PCBs durante la transferencia de residuos que contienen PCBs desde un sector a otro.

ANEXO **B**

# Convenio de Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)

El Consejo de Administración del PNUMA, en su Decisión 19/13C <sup>[59]</sup> adoptada en Febrero de 1997, promueve la acción internacional para proteger la salud humana y el medio ambiente a través de medidas para reducir y/o eliminar las liberaciones de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), e invita al Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) a preparar un Instrumento Internacional Jurídicamente Vinculante Para la Aplicación de Medidas Internacionales Respecto de Ciertos Contaminantes Orgánicos Persistentes.

La elaboración de este instrumento internacional finalizó en el quinto período de sesiones del CIN, en Diciembre de 2000 y se sometió a la firma de las Partes el 22 y 23 de Mayo de 2001 en la Conferencia de Plenipotenciarios, tras lo cual se denominó Convenio de Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes <sup>[60]</sup>. Entró en vigencia el 17 de Mayo de 2004, luego de que fueran depositados cincuenta (50) instrumentos de ratificación, adhesión o aceptación. La primera Conferencia de las Partes se realizará en Punta del Este, Uruguay, del 2 al 6 de Mayo de 2005.

El Convenio de Estocolmo enfoca inicialmente sus acciones en una lista de doce (12) COPs, agrupados en tres (3) categorías:

**TABLA B. I. SUSTANCIAS SUJETAS AL CONVENIO DE ESTOCOLMO.**

Plaguicidas	Productos químicos industriales	Subproductos no intencionales
Aldrin Clordano DDT Dieldrin Endrin Heptacloro Hexaclorobenceno[a] [HCB] Mirex Toxafeno	<b>Bifenilos Policlorados [PCBs][b]</b> Hexaclorobenceno [HCB]	Dioxinas [dibenzo-p-dioxinas policloradas] Furanos [dibenzofuranos policlorados] Hexaclorobenceno [HCB] Bifenilos Policlorados [PCBs]

[a] Esta sustancia puede ser plaguicida, producto químico industrial y subproducto no intencional.

[b] Esta sustancia es un producto químico industrial y un subproducto no intencional.

En el proceso de negociación del Convenio, Chile participó activamente a través de un Grupo de Trabajo Multisectorial, coordinado por CONAMA en su calidad de Punto Focal del Convenio en Chile, y conformado por instituciones del sector público, sector privado y Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), tal como se presenta en la siguiente Tabla B. I.

[59]: Consejo de Administración del PNUMA, 19º Período de Sesiones.

[60]: UNEP/POPS/CONF/4 (2001).

**Tabla B.2.** INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO MULTISECTORIAL DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO.

Sector público	Sector privado	Organizaciones No Gubernamentales, ONGs
Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA	Sociedad de Fomento Fabril, SOFOFA Asociación de Industriales Químicos de Chile, ASIQUIM A.G.	Alianza por una Mejor Calidad de Vida – RAP-AL
Ministerio de Relaciones Exteriores (DIMA, DIRECON)	Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas, ASIMET	Greenpeace
Ministerio de Salud	Asociación Nacional de Fabricantes e	Oceana
Ministerio de Minería	Importadores de Productos Fitosanitarios	
Servicio Agrícola y Ganadero, SAG	Agrícolas, AFIPA A.G.	
Servicio Nacional de Aduanas	Sociedad Nacional de Minería, SONAMI	
Corporación Nacional del Cobre de Chile, CODELCO-Chile	Corporación Nacional de la Madera, CORMA CMPC Celulosa	
Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO	Hidronor  Cemento Melón Cemento Polpaico Cementos Bío Bio	

### Objetivo

El objetivo del Convenio de sobre los COPs establece que. “Teniendo presente el principio de precaución consagrado en el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el objetivo del presente Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes”.

En su parte medular, el Convenio establece **medidas para reducir o eliminar liberaciones de COPs derivadas de la producción y utilización intencionales, de la producción no intencional** y derivadas de **existencias y desechos**; un procedimiento para incorporar nuevos COPs al Convenio; un procedimiento para el **intercambio de información** y de sensibilización y formación del público; una promoción de la **investigación, desarrollo y vigilancia; y mecanismos de asistencia técnica y financiera**, todos los cuales se detallan a continuación:

### Aspectos principales del Convenio

- a. Cada Parte debe establecer medidas de control para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción intencional de COPs (plaguicidas y productos industriales). Prohibir y/o adoptar las medidas jurídicas y administrativas para eliminar la producción, utilización, importación y exportación de: Aldrin, Clordano, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Mirex, Toxafeno, **Bifenilos Policlorados**.
- b. Cada Parte debe adoptar prioridades a fin de **eliminar a mas tardar el año 2025, el uso de los PCBs en equipos** (e.g. transformadores, condensadores u otros recipientes que contengan existencias de líquidos residuales) y conforme a dichas prioridades, promover medidas de reducción de la exposición y el riesgo a fin de controlar el uso de los PCBs. Asimismo, realizar: esfuerzos para gestionar de manera ambientalmente racional los desechos de los líquidos y los equipos que contengan PCBs, a mas tardar el año 2028.

- c. Cada Parte debe restringir la producción y utilización del DDT.
- d. Cada Parte debe establecer medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción no intencional de COPs (PCDDs, PCDFs, HCB, PCBs). Para ello deberá promover el empleo de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.
- e. Cada Parte debe establecer medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de las existencias y desechos COPs, en conjunto con las directrices del Convenio de Basilea.
- f. Cada parte debe elaborar un plan nacional de aplicación y planes de acción respecto de los COPs.
- g. Cada Parte puede enviar propuestas para la inclusión de nuevos COPs al Convenio y/o proporcionar información para la elaboración del perfil de riesgos y sobre consideraciones socioeconómicas de las medidas de control para la reducción del riesgo, los efectos positivos y negativos de la aplicación de dichas medidas y sobre los desechos y su eliminación.
- h. Cada Parte debe facilitar el intercambio de información y la formación del público.
- j. Cada Parte debe promover las actividades de investigación, desarrollo, vigilancia y cooperación sobre COPs.
- j. El Convenio permite acceder a mecanismos de asistencia técnica y financiera.
- k. Cada Parte debe informar a la Conferencia de las Partes las medidas adoptadas para cumplir con el Convenio.
- l. Cada Parte debe proporcionar a la Secretaría datos sobre producción, importación y exportación de COPs.
- m. El Convenio establece mecanismos de evaluación de la eficacia de las medidas aplicadas por cada Parte.
- n. El Convenio establece mecanismos para determinar el incumplimiento y las soluciones de controversias.

### **Estado del Convenio en Chile**

El Convenio fue firmado el 23 de Mayo de 2001. Aun no está ratificado, por lo que no ha entrado en vigencia para el país. Actualmente se encuentra en su segundo trámite constitucional en el Senado de la República, con clasificación de "Urgente". En apoyo a su ratificación en el Congreso Nacional, el Ministerio de Relaciones Exteriores envió a la Secretaría General de la Presidencia, el Informe Técnico del estudio "Levantamiento de Información para la implementación del Convenio de Estocolmo" (CONAMA/CENMA, 2001).

Durante todo el período de negociaciones del Convenio, desde 1998 y hasta la fecha, CONAMA ha actuado como Punto Focal del Convenio en Chile, coordinando cuatro (4) Grupos de Trabajo Multisectoriales y realizando diversos estudios.

Chile ha sido seleccionado como uno de los doce (12) países piloto <sup>[61]</sup> para el desarrollo del proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (FMAM/PNUMA), "Evaluación de las necesidades nacionales para el manejo de las sustancias tóxicas persistentes", actualmente denominado "Desarrollo de un Plan Nacional de Implementación para la Gestión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes" en Chile", labor que es coordinada por CONAMA, desde su postulación (año 2000) hasta su desarrollo durante 24 meses, iniciados en Septiembre de 2002. Se estima que finalizará en Abril de 2005. La parte chilena tiene un financiamiento de US\$ 465.000.-, administrados por PNUD (Chile) y bajo la supervisión de un Comité Nacional Coordinador.

Las actividades desarrolladas en dicho proyecto, son:

- a. Inventario nacional de PCBs (Centro EULA de la Universidad de Concepción).
- b. Inventario nacional de plaguicidas COPs caducado (SAG).
- c. Inventario nacional de fuentes de emisión de Dioxinas y Furanos (UDT de la Universidad de Concepción).
- d. Actualización del perfil nacional para la gestión de las sustancias químicas (Ministerio de Salud).
- e. Levantamiento de sitios contaminados con COPs (Fundación Chile).
- f. Análisis información disponible sobre efectos de COPs en salud y medio ambiente (Germán Corey).
- g. Análisis de impactos socioeconómicos de la gestión de los COPs (Universidad Técnica Federico Santa María).
- h. Análisis legislación vigente sobre COPs y propuestas normativas (Universidad Marítima, Universidad de Chile).
- i. Evaluación técnico-económica de las capacidades analíticas de COPs en Chile (Centro EULA).
- j. Inventario de plaguicidas COPs domésticos e industriales (Ministerio de Salud).

---

[61] 12 Países Piloto: Barbados, Bulgaria, Chile, Ecuador, Eslovenia, Guinea/Conakri, Líbano, Mali, Micronesia, Papúa Nueva Guinea, Zambia.

# ANEXO **C** Convenio de Rotterdam Sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional

## Objetivo del Convenio

"Promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos, a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y contribuir a su utilización ambientalmente racional, estableciendo el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las Partes" [62].

## Aspectos principales del Convenio:

1. Es un instrumento jurídicamente vinculante que define un procedimiento para el intercambio de información a través del cual las Partes productoras-exportadoras de compuestos químicos, entregarán a las Partes importadoras-consumidoras, información acerca de los riesgos que reviste el uso de esos compuestos y las medidas que han adoptado para prevenir o controlar los efectos nocivos. A su vez los países importadores deberán establecer un procedimiento nacional para adoptar decisiones en base a la información recibida y de acuerdo a sus realidades locales.
2. Establece la obligación de informar sobre la medida reglamentaria firme nacional, que prohíbe o restringe un producto químico.
3. Establece un procedimiento de inclusión de nuevos productos químicos al Convenio, conforme a categorías de uso: plaguicida, formulación plaguicida extremadamente peligrosa, e industrial.
4. Exige que la exportación de un producto químico sujeto al CFP, sea sometida a requerimientos de etiquetado para asegurar la adecuada disponibilidad de información respecto de los riesgos y/o peligros para la salud humana y el medio ambiente.
5. El procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) exige al país exportador respecto a los productos incluidos en el Convenio (Anexo III), respetar la decisión del país importador en relación a ese producto.
6. La implementación exige que cada país designe una o más Autoridades Nacionales Designadas, AND, que estarán facultadas para actuar en su nombre en el desempeño de las funciones administrativas requeridas en función del Convenio. En Chile la AND para los productos industriales es el Ministerio de Salud y para los plaguicidas es el Servicio Agrícola y Ganadero.

Las sustancias sujetas al Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo se incluyen en el listado del Anexo III del Convenio y se detallan en la siguiente Tabla, sobre categorías de uso:

---

[62] FAO/UNEP, 1998.]

**Tabla c.1.** sustancias sujetas al convenio de rotterdam.

Plaguicida	Formulación plaguicida extremadamente peligrosa	Industrial
2,4,5-T Aldrin	Monocrotophos (formulaciones líquidas solubles de la sustancia, que sobrepasen los 600 g/l de ingrediente activo)	Crocidolita Bifenilos polibromados [PBBs]
Captafol	Metamidophos (formulaciones líquidas solubles de la sustancia, que sobrepasen los 600 g/l de ingrediente activo)	Bifenilos policlorados [PCBs] Terfenilos policlorados [PCTs]
Clordano	Fosfamidón (formulaciones líquidas solubles de la sustancia, que sobrepasen los 1000 g/l de ingrediente activo)	Fosfato de tris (2,3-dibromopropilo)
Clordimeformo Clorobencilato DDT	Metil-Paration (concentraciones emulsificables [CE] con 19,5%, 40%, 50% y 60% de ingrediente activo y polvos que contengan 1,5%, 2% y 3% de ingrediente activo)	
Dieldrin Dinoseb y sales de Dinoseb 1,2-Dibromoetano [EDB] Fluoroacetamida HCH (mezcla de isómeros)	Paratión (se incluyen todas las formulaciones de esa sustancia -aerosoles, polvos secos [PS], concentrado emulsificable[CE], gránulos [GR] y polvos humedecibles [PH]- excepto las suspensiones en cápsula [SC])	
Heptacloro Hexaclorobenceno [HCB] Lindano Compuestos de Mercurio (incluidos inorgánicos, alquílicos, alcoxiálqulicos y arílicos) Pentaclorofenol Óxido de etileno Dicloruro de etileno		

### Estado del Convenio en Chile

Firmado el 11 de Septiembre de 1998 y en Segundo Trámite Constitucional en el Congreso. Entró en vigencia el 17 de Febrero de 2004. Aun no ratificado por Chile. Durante todo el período de negociaciones del Convenio, CONAMA actuó como coordinadora del Grupo de Trabajo Convenio de Rotterdam, conformado por instituciones del sector público, sector privado y Organizaciones No Gubernamentales (ONGs). El Ministerio de Relaciones Exteriores ejerce dicha función actualmente.

**Tabla C.2.** INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO MULTISECTORIAL DEL CONVENIO DE ROTTERDAM.

Sector público	Sector privado	ONGs
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA</li> <li>Ministerio de Relaciones Exteriores</li> <li>Ministerio de Salud</li> <li>Ministerio de Minería</li> <li>Servicio Agrícola y Ganadero, SAG</li> <li>Servicio Nacional de Aduanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asociación de Industriales Químicos de Chile, ASIQUIM A.G.</li> <li>Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos</li> <li>Fitosanitarios Agrícolas, AFIPA A.G.</li> <li>Sociedad de Fomento Fabril, SOFOFA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alianza por una Mejor Calidad de Vida</li> <li>Greenpeace</li> </ul>

# ANEXO **D** Convenio de Basilea Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación

## Objetivo del Convenio

- Reducir los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos sometidos al Convenio de Basilea a un mínimo compatible con su manejo ambientalmente racional.
- Tratar y eliminar los desechos peligrosos lo más cerca como sea posible de su fuente de generación.
- Reducir la producción de desechos peligrosos al mínimo desde el punto de vista de la cantidad y peligros potenciales.
- Asegurar el control estricto de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos en los puntos fronterizos así como prevenir el tráfico ilícito de desechos peligrosos.
- Prohibir los transportes de desechos peligrosos hacia países carentes de capacidades jurídicas, administrativas y técnicas para manejarlos y eliminarlos de manera ambientalmente racional.
- Ayudar a los países en desarrollo y de economías en transición a manejar de manera ambientalmente racional los desechos que producen.

## Aspectos principales del Convenio:

El Convenio de Basilea es el tratado internacional sobre desechos peligrosos más amplio y significativo actualmente en vigencia. El Convenio ha instaurado un sistema de control estricto, basado en el consentimiento escrito previo. La base para la aplicación del sistema de control es el procedimiento de notificación de los movimientos transfronterizos.

Una condición importante del Convenio es que el país que tenga la intención de exportar un residuo peligroso debe notificar y obtener el consentimiento escrito de las autoridades apropiadas de los países involucrados, con antelación al pretendido envío de los desechos. Además, cada movimiento de desechos ha de acompañarse de un documento sobre el movimiento desde el lugar de inicio del movimiento transfronterizo hasta el lugar de eliminación.

En relación con los documentos involucrados en un movimiento transfronterizo de desechos peligrosos, éstos deben utilizarse para notificar el movimiento a las autoridades competentes de los países interesados y, con posterioridad para acompañar el movimiento. La notificación está destinada a ofrecer información detallada, precisa y completa sobre las Partes que intervienen en el movimiento, los propios desechos, la operación de eliminación a la que están destinados, etc. Dicha información permitirá a las autoridades competentes interesadas formarse un juicio para consentir o rechazar el movimiento de conformidad con el Convenio de Basilea y su legislación nacional.

Respecto a las obligaciones de los países Partes del Convenio, se encuentran:

- Las Partes tienen el derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos.
- Las Partes tienen la obligación de prohibir la exportación de desechos peligrosos a las Partes que hayan prohibido la importación de esos desechos.
- Cada Parte impedirá la importación de desechos peligrosos si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional.
- Ninguna Parte permitirá que los desechos peligrosos se exporten a un país que no sea Parte o se importen de un país que no sea Parte del Convenio.
- Las Partes acuerdan no permitir la exportación de desechos peligrosos para su eliminación en la Antártica.

### **Estado del Convenio en Chile**

El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, fue suscrito por nuestro país en el año 1990, aprobado por el Congreso Nacional en el año 1992 y promulgado como Ley de la República, mediante Decreto Supremo N°685, del Ministerio de Relaciones Exteriores, que se publicó en el Diario Oficial del 13 de Octubre de 1992.



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE SALUD

N°

## DOCUMENTO SOBRE EL MOVIMIENTO

Se expidió notificación de embarque de desechos:

Fecha de expedición: \_\_/\_\_/\_\_

- Notificación del envío único  
 Notificación de envíos múltiples durante el período \_\_\_\_\_

Este embarque es el N°. \_\_\_\_\_ de los embarques totales consignados en la notificación general:  
 \_\_\_\_\_.

### 1.- EXPORTADOR (NOTIFICADOR) (1)

Nombre :	Teléfono :
Dirección :	Telefax :
Persona a cargo (nombre, dirección, teléfono, telefax):	

### 2.- GENERADOR (ES) DE LOS DESECHOS

Nombre :	Teléfono :
Dirección :	Telefax :
Persona a cargo (nombre, dirección, teléfono, telefax):	
Proceso por el que se generaron los desechos:	
Lugar de generación:	

**3.- ELIMINADOR DE LOS DESECHOS**

Nombre :	A CARGO DEL ELIMINADOR
Dirección :	
Teléfono :	
Telefax :	
Persona a cargo en caso de emergencia (nombre, dirección, teléfono, telefax):	Certificación de la recepción de los desechos en la instalación designada.
Fecha aproximada de la eliminación:	Método de eliminación (3):
	Código D                      Código R
Lugar efectivo de la eliminación:	Fecha : __/ __/ __/
	Firma :
	Fecha efectiva de la eliminación: __/ __/ __/
	Firma del eliminador:

**4.- DESECHOS**

Designación de los desechos:					
Número Y	Número H	Clase de las Naciones Unidas	Número de las Naciones Unidas	Nombre distintivo de embarque de las Naciones Unidas con el que se embarca	Código IWIC
Estado físico a 20° C:					
<input type="checkbox"/> polvo	<input type="checkbox"/> sólido	<input type="checkbox"/> en pasta/ viscoso	<input type="checkbox"/> lodo	<input type="checkbox"/> líquido	<input type="checkbox"/> gas <input type="checkbox"/> otro -----
Cantidad a exportar: (Kg o Lt)					
Tipo de envase Número de bultos					
Requisitos especiales de manipulación, incluidas las disposiciones de emergencia en caso de accidente:					

**5.- ITINERARIO**

País de exportación:	
Punto de salida: Países de tránsito:	
1)	Punto de entrada: Punto de salida:
2)	Punto de entrada: Punto de salida:
3)	Punto de entrada: Punto de salida:
4)	Punto de entrada: Punto de salida:
País de importación: Punto de entrada:	

**6.- TRANSPORTISTA DE LOS DESECHOS o su agente**

1) Nombre : Dirección : Teléfono : Telefax :	Fecha de inicio del movimiento transfronterizo: __/ __/ __/
Persona a cargo (nombre, dirección, teléfono, telefax):	Firma del transportista o agente:
Nombre del Barco:	
Modo de transporte: <input type="checkbox"/> mar <input type="checkbox"/> aire <input type="checkbox"/> aguas interiores <input type="checkbox"/> carretera <input type="checkbox"/> ferrocarril	Licencia (si corresponde):
2) Nombre : Dirección : Teléfono : Telefax :	Fecha de inicio del movimiento transfronterizo: __/ __/ __/
Persona a cargo (nombre, dirección, teléfono, telefax):	Firma del transportista o agente:
Nombre del barco:	
Modo de transporte: <input type="checkbox"/> mar <input type="checkbox"/> aire <input type="checkbox"/> aguas interiores <input type="checkbox"/> carretera <input type="checkbox"/> ferrocarril	Licencia (si corresponde):

<b>CONSENTIMIENTO DE LA AUTORIDAD COMPETENTE</b>	<b>A CARGO DEL GENERADOR O EL EXPORTADOR</b>  Declaración de que la información es correcta:  Declaración de que no hay objeciones por parte de las autoridades competentes de todos los Estados interesados que sean Partes en el Convenio de Basilea.  Fecha del consentimiento del Estado de exportación: __/ __/ __/  Fecha del consentimiento del Estado de importación: __/ __/ __/  Fecha del consentimiento del Estado de tránsito: __/ __/ __/
<b>SUBSECRETARIO DE SALUD</b>	



# ANEXO E

## Glosario de Términos

### A

**Aceite de corte:** Tipo de fluido de corte utilizado en metales trabajados a máquina para lubricar la herramienta y la pieza de trabajo, reduciendo el desgaste de la herramienta, aumentando la velocidad de corte y disminuyendo las necesidades de poder.

**Aceite lubricante:** Aceite utilizado para disminuir la fricción entre partes en movimiento.

**AMAP:** Arctic Monitoring and Assessment Programme.

**Aplicación abierta:** Aplicación en la cual los PCBs son consumidos durante su uso, o son irrecuperables después de su uso o tiempo de vida de los productos. Liberan PCBs directamente en el medio ambiente (e.g. plastificantes usados en PVC, neopreno y otras gomas cloradas).

**Aplicación cerrada:** Aplicaciones tales como condensadores y transformadores, donde los PCBs están en recipientes totalmente cerrados. Es menos probable el escape de los PCBs hacia el medio ambiente desde estas aplicaciones.

**Askarel®:** Además de ser un nombre comercial, es un término genérico utilizado para denominar a los líquidos aislantes no inflamables de transformadores y condensadores.

### B

**Balasto ("Ballast"):** Dispositivo de control que se encuentra dentro de equipos de iluminación fluorescente y otros como equipos de iluminación de mercurio, sodio y neón. Está compuesto de un pequeño transformador, un pequeño condensador y un interruptor de corte térmico. El condensador es la única parte que puede contener PCBs.

**BCF:** Bioconcentration Factor; Factor de Bioconcentración (FBC).

**Bifenilo:** Estructura conformada por dos anillos fenilos unidos entre sí por un enlace químico a un átomo de Carbono en cada anillo.

**Bioacumulación:** Proceso mediante el cual los organismos vivos, especialmente aquellos que viven en el agua, pueden tomar y concentrar sustancias químicas desde el medio ambiente circundante (i.e. bioconcentración) e indirectamente desde sus alimentos. Se determina generalmente mediante el Factor de Bioconcentración (FBC, O BCF por su sigla en inglés).

**Bioconcentración:** Proceso por el cual los organismos vivos, especialmente aquellos que viven en el agua, pueden coleccionar y concentrar sustancias químicas desde el medio ambiente que los rodea. Incluye el efecto en la concentración interna de un organismo como resultado de su captación de una sustancia química (ingestión), su movimiento interno (distribución), su cambio (metabolismo) y su retorno hacia el medio ambiente (eliminación).

**Coefficiente de distribución de carbono orgánico,  $K_{OC}$ :** Medida de la tendencia de los PCBs por ser absorbidos en el carbono orgánico del suelo o del sedimento.

**Coefficiente de partición n-octanol/agua,  $K_{ow}$ :** Medida de la hidrofobicidad de una sustancia; ha sido utilizado para predecir el alcance de la bioconcentración de contaminantes orgánicos en organismos. El Convenio de Estocolmo, establece que una sustancia se considera bioacumulable si el  $\log K_{ow}$  es superior a 5.

**Condensador:** Dispositivo para acumular y liberar una carga de electricidad. Algunos fueron hechos con PCBs como el fluido dieléctrico que separa las superficies conductoras.

**Conferencia de las Partes:** Órgano supremo del Tratado, conformado por todas las Partes respecto quienes el Convenio ha entrado en vigor.

## D

**Declarar / Desclorar:** Eliminar átomos de Cloro desde una molécula, por ejemplo de PCBs.

**Deposición de contaminantes o sustancias químicas:** Transferencia neta de contaminantes o sustancias químicas desde la atmósfera hacia la biosfera.

## F

**Factor de bioacumulación (FBA):** Número que describe la bioacumulación como la razón entre la concentración de una sustancia química dentro de un organismo y la concentración en el medio ambiente que lo rodea.

**Factor de bioconcentración (FBC):** Equivale a la razón de la concentración de una sustancia química en el estado estacionario en un organismo,  $C_o$ , con respecto concentración en el agua,  $C_w$ .

**"Fluff":** Ver descripción de "Pelusa".

**Fluido dieléctrico:** Fluido que esencialmente no conduce la electricidad.

**Fluido hidráulico:** Fluido de baja viscosidad utilizado en la operación de un mecanismo hidráulico.

**Fluido de transferencia de calor:** Aceite utilizado para transportar calor o frío entre dos áreas, un proceso y una superficie de equipo, y formulado especialmente para evitar la degradación por calor en el rango de temperatura utilizado.

## G

**Generador (Reglamento Residuos Peligrosos):** Titular de toda instalación o actividad que dé origen a residuos peligrosos.

## H

**Haz-Mat:** Abreviatura del término en inglés **Hazardous Materials**, cuya traducción al español es Materiales Peligrosos.

**Hidráulico:** Operado, movido, o afectado por medio de agua u otro fluido.

**I**

**Incidente:** Emergencia en presencia de Materiales Peligrosos.

**Instalación de Eliminación (Reglamento Residuos Peligrosos):** Planta o estructura destinada a la eliminación de residuos peligrosos.

**IUPAC:** International Union of Pure and Applied Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)

**K**

**KOC:** Coeficiente de distribución de carbono orgánico.

**KOW:** Coeficiente de partición n-octanol/agua.

**L**

**Líquido de transferencia de calor:** Aceite utilizado para transportar el calor o frío entre 2 áreas de un proceso/superficie de un equipo, y formulado especialmente para evitar la degradación por calor en el rango de temperatura de la aplicación.

**P**

**Parte:** El Estado (u organización de integración económica regional, como la Unión Europea, conformada por Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia) que acepte quedar vinculado por un tratado, y respecto de quien dicho tratado ha entrado en vigor.

**Partes por millón (ppm) en peso:** Unidad de concentración de PCBs , expresada también como miligramos por kilogramo (mg/kg).

**Pelusa ("Fluff"):** Residuos que incluyen material de tapicería, acolchado y aislación, producidos de la fragmentación de aplicaciones eléctricas y de autos.

**Persistencia:** Capacidad de una sustancia química para permanecer inalterada en el medio ambiente por un largo período de tiempo. Generalmente se describe en términos de la Vida Media.

**PVC:** Poly Vinyl Chloride, o PCV -Policloruro de vinilo-.

**R**

**Residuo o desecho (Reglamento Residuos Peligrosos):** Sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

**Residuo peligroso (Reglamento Residuos Peligrosos):** Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11 (toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, inflamabilidad, reactividad y corrosividad).

**RITA MINSAL:** Red de Información Toxicológica y Alerta del Ministerio de Salud.

**S**

**Secretaría:** Conformada por el Director Ejecutivo y el personal de la División de Productos Químicos del PNUMA, con base en Ginebra, quienes están encargados de coordinar la organización del Comité Intergubernamental de Negociación sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, y le presta servicios, entre otras cosas, en la preparación de documentos y celebración de las reuniones.

**T**

**Transformador:** Dispositivo utilizado para elevar y disminuir el voltaje. Los transformadores que contienen PCBs se localizan comúnmente en instalaciones generadoras de electricidad y en edificios.

**U**

**Usos disipativos:** Usos en los cuales los PCBs son liberados pasivamente al medio ambiente. Esto puede incluir varias aplicaciones abiertas y parcialmente cerradas.

**V**

**Vida media:** Tiempo que transcurre para que la mitad de la cantidad de una sustancia sea removida desde el medio ambiente. La mitad de la sustancia desaparece después de una primera vida media; la mitad de lo que queda desaparece después de una posterior vida media, dejando solamente un cuarto de la cantidad original, y así sucesivamente.

**Sitio web: [www.conama.cl](http://www.conama.cl)**