

---

Desarrollo de la Capacidad Nacional para la Gestión y Eliminación  
Ambientalmente Adecuada de PCB en Colombia

---

Manual para la Gestión Integral de  
Bifenilos Policlorados - PCB

---

No. 1

# GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE BIFENILOS POLICLORADOS - PCB

---

 MINAMBIENTE

 **TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS**  
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

 gef

 **PN  
UD**  
El camino  
de los servicios  
a las naciones

 **COLOMBIA  
LIBRE DE  
PCB**

## REPÚBLICA DE COLOMBIA

**Juan Manuel Santos Calderón**

Presidente

**Gabriel Vallejo López**

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**Pablo Vieira Samper**

Viceministro de Ambiente

**Francisco José Gómez Montes**

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

**Andrea López Arias**

Coordinadora Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO

### Con el apoyo de:

Fondo Mundial para el Medio Ambiente - GEF y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD

## EQUIPO DE TRABAJO

Coordinación

**José Álvaro Rodríguez Castañeda** - Coordinador

Nacional Proyecto PCB

Textos

**Fabián Mauricio Pinzón Rincón**

## EQUIPO TÉCNICO

**Edwin Camelo Martínez** - Consultor Técnico PCB

**Fabián Mauricio Pinzón Rincón** - Consultor Proyecto PCB

**Jaime Eduardo Ramírez Henríquez** - Consultor Técnico PCB

**Claudia Patricia Neira Cuellar** - Consultora Técnica PCB

Corrección:

**María Emilia Botero Arias**

Minambiente - Subdirección de Educación y Participación

Diagramación:

**Una Tinta Medios SAS**

## Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB

### No. 1. Generalidades y Conceptos Básicos sobre Bifenilos Policlorados - PCB

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015

*Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.*

**No comercializable - Distribución gratuita**

### PROYECTO COL 84851/71268

DESARROLLO DE LA CAPACIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN Y ELIMINACIÓN

AMBIENTALMENTE ADECUADA DE PCB EN COLOMBIA. Proyecto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el apoyo de GEF y PNUD

**Catalogación en Publicación.** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Generalidades y conceptos básicos sobre bifenilos policlorados - PCB [recurso electrónico] / Textos: Pinzón Rincón, Fabián Mauricio. --- Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

44 p. : ; - (Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB ; no. 1)

Proyecto COL 84851/71268 Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia

ISBN OBRA COMPLETA: 978-958-8901-11-4

ISBN NÚMERO EN LA SERIE: 978-958-8901-12-1

1. Bifenilpoliclorados 2. Contaminantes orgánicos persistentes  
3. Gestión ambiental I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible III. Serie

CDD: 628.5



# Agradecimientos

Ing. Cristian Julián Díaz Álvarez – Director de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central por sus valiosas orientaciones conceptuales y metodológicas para la elaboración de este documento.

Qca. Martha Cecilia Hoyos Calvete – Consultora Ambiental por sus importantes aportes en la revisión de los contenidos finales del documento.

A todas las autoridades y entidades ambientales, empresas relacionadas con el sector eléctrico y energético, así como todos los profesionales que contribuyeron con sus aportes para la estructuración y elaboración de este documento.





# Contenido

## Introducción 4

## 1. MARCO CONCEPTUAL DE LOS PCB 6

- 1.1. Definición 8
- 1.2. Propiedades físicas y químicas 9
- 1.3. Manufactura y usos 11
  - 1.3.1. Los PCB en las instalaciones eléctricas e industriales 13
  - 1.3.2. Tipos de equipos y desechos de PCB 15
- 1.4. Liberación no intencional de PCB 16

## 2. CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LOS PCB 18

- 2.1. Persistencia 20
- 2.2. Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación 21
- 2.3. Toxicidad de los PCB 23
- 2.4. Subproductos 25
- 2.5. Pasivos ambientales 26

## 3. MARCO PARA LA GESTIÓN DE LOS PCB EN COLOMBIA 30

- 3.1. Antecedentes técnicos 32
- 3.2. Marco normativo y política ambiental 34
- 3.3. Plan nacional de aplicación 34
- 3.4. Metas para la gestión integral de PCB en Colombia 36
- 3.5. Prohibiciones 36

## ANEXO 1 38

## Glosario 40

## Acrónimos – Siglas 41

## Referencias 42

# Introducción

La presente serie técnica, elaborada en el marco del proyecto “Desarrollo de la capacidad para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB”, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –Minambiente, financiado por el Global Environment Facility - GEF y con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD, tiene por objeto orientar a los usuarios del mismo sobre las generalidades y la problemática ambiental de los bifenilos policlorados (PCB), así como brindar herramientas técnicas para que las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas que se encuentran dentro del campo de aplicación de la normativa ambiental vigente<sup>1</sup> puedan cumplir con los requisitos para la gestión integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con estos compuestos orgánicos persistentes.

Esta serie técnica se consolidó gracias al liderazgo del Equipo Técnico de PCB del Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como al conocimiento especializado de sus consultores, centros de investigación y desarrollo tecnológico, sector empresa-

rial y gestores de residuos peligrosos del país. En ella se acopió información valiosa existente en literatura científica y en documentos de trabajo del Minambiente, correspondientes a los años 2001 (Manual Técnico de PCB Proyecto CERI-Colombia-ACDI), y 2007 y 2013 (documentos internos de trabajo sobre PCB).

La serie Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB, se desagrega inicialmente en seis números, los cuales se desarrollaron para distintos públicos objetivo en aras de focalizar la lectura, comprensión e implementación de los criterios técnicos establecidos de tal forma que se pueda disminuir el riesgo ambiental y ocupacional en su manejo, salvaguardar la salud humana y proteger los sistemas naturales en toda cadena de valor que los contenga.

Este documento es parte de la serie que estará conformada en un comienzo por los siguientes números:

En el *número 1* se abordan algunas generalidades que permitirán al lector o usuario contar con elementos conceptuales y consideraciones ambientales, que motivan la necesidad de promover la gestión integral de PCB en

---

<sup>1</sup> En especial la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.



Colombia. De la misma manera, se presenta un marco de referencia para adelantar dicha gestión en el país.

Por su parte el *número 2* presenta el contexto general en el cual se viene desarrollando el Inventario Nacional de PCB en Colombia, así como algunas consideraciones adicionales para la correcta implementación de su procedimiento. Se acompaña de un capítulo de preguntas y respuestas frecuentes recopiladas a partir de las consultas realizadas por los usuarios en sus primeros años de implementación.

El *número 3* pone a disposición de los usuarios, una serie de orientaciones básicas para facilitar las actividades asociadas con el muestreo estadístico de equipos a ser identificados, así como algunas recomendaciones para la aplicación de los protocolos existentes en materia de toma de muestras y procedimientos analíticos para la cuantificación de contenidos de PCB tanto en equipos como en desechos.


Adicionalmente, el *número 4* brinda información y recomendaciones en relación con la etapa de marcado de equipos eléctricos que consisten, contienen o pue-

den contener PCB y desechos contaminados con PCB, partiendo de la descripción de aquellos elementos susceptibles a ser marcados, y presentando las principales consideraciones y alternativas para adelantar esta actividad.

En el *número 5* se sintetizan y exponen las principales consideraciones técnicas y ambientales relativas a los procedimientos de diagnóstico, mantenimiento y reparación de equipos.

Por otra parte, en el *número 6* se recopilan los aspectos más relevantes en materia de manejo ambientalmente racional de PCB, tales como almacenamiento, transporte, tratamiento y descontaminación de equipos y desechos contaminados con PCB. Asimismo, se presenta un capítulo final de gestión del riesgo, seguridad y salud ocupacional asociados a PCB.

En la medida que surja la necesidad de ampliar la información sobre la gestión de los PCB en Colombia y considerando los resultados del proyecto COL 84851-71268, se agregarán a la serie técnica nuevos documentos según se considere pertinente.



# 1. MARCO CONCEPTUAL DE LOS PCB





## Contenido Numeral 1

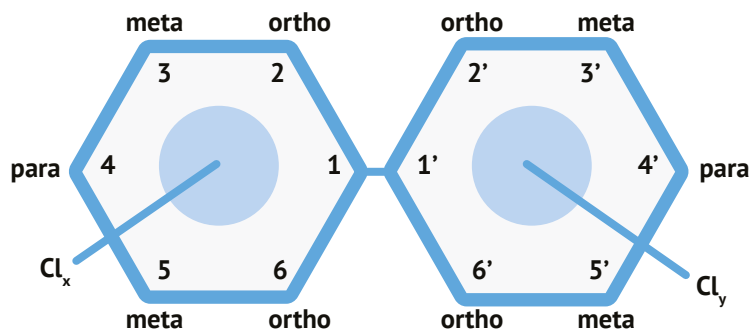
1.1.	Definición	8
1.2.	Propiedades físicas y químicas	9
1.3.	Manufactura y usos	11
1.3.1.	Los PCB en las instalaciones eléctricas e industriales	13
1.3.2.	Tipos de equipos y desechos de PCB	15
1.4.	Liberación no intencional de PCB	16

En el entendido de que los equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con bifenilos policlorados (PCB, por sus siglas en inglés), pueden perturbar los sistemas naturales y reducir la calidad de sus bienes y servicios ambientales, así como afectar la salud humana y otras formas de vida, es menester conocer sus características generales, propiedades físico químicas, manufactura, formas de presentación, usos comerciales, industriales y domésticos; así como los equipos que los contienen y nombres de las mezclas comerciales más comunes. Este es el objetivo específico de este primer cuaderno, el cual podrá ser complementado por el usuario, con base en la lectura detallada de literatura científica, uso de páginas web especializadas y la aplicación de manuales técnicos complementarios.

### 1.1. Definición

Los bifenilos policlorados (PCB) son compuestos sintéticos organoclorados con una fórmula condensada  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$  (donde n representa el número de átomos de cloro) que pueden ser líquidos aceitosos, resinosos o sólidos. Debido a la presencia de cloro, se configuran en compuestos muy estables y resistentes a la degradación química, biológica, mecánica y térmica, tienen una baja presión de vapor y elevados puntos de inflamación; no son hidrolizables ni solubles en agua, pero sí en solventes orgánicos, aceites y grasas vegetales o sintéticas; características por las cuales son clasificados como compuestos orgánicos persistentes (CNR COP, 2014; IDPH, 2009; Valle & Cruz, 1997).

Figura 1. Estructura de un bifenilo policlorado



Elaboración propia

La familia de los PCB está constituida por 209 compuestos individuales reconocidos, los cuales se clasifican como homólogos, congéneres y mezclas. Los homólogos se refieren al nombre general de un PCB dependiendo del número de **átomos de** cloro que éste posea; los nombres de los congéneres indican la posición de cada cloro dentro de la molécula (se reconoce como término genérico bifenilos policlorados para todos los congéneres); y las mezclas de varios bifenilos con diferente grado de cloración dan como resultado un *Aroclor* o *Askarel* o cualquiera de los nombres de los fluidos comerciales que aparecen en la tabla 1 (Ahlborg & Hanberg & Kenne, 1992; Fiedler, 1998; CERI & ACDI & MMA, 2001; EPA, 2013).



**Tabla 1. Nombres de los fluidos y mezclas comerciales que contienen PCB**

Aceclor	Chloretol	Diactor	Hydol	Olex-sf-d	Pyroclor
Adkarel	Chlorextol	Dicolor	Hyrol	Orophene	Pyronol
ALC	Chlorinated biphenyl	Diconal	Hyvol	PCB - PCB's - PCBs	Saf-T-Kuhl
Apirolio	Chlorinated diphenyl	Diphenyl, chlorinated	Inclor	Pheaoclor	Saf-T-Kohl
Apirortio	Chlorinol	DK	Inerteen	Phenochlor	Santosol
Arochlor	Chlorobiphenyl	Duconal	Inertenn	Phenoclor	Santotherm
Arochlors	Chlorodiphenyl	Dykanol	Kanechlor	Plastivar	Santotherm
Aroclor	Chlorphen	Educarel	Kaneclor	Polychlorinated biphenyl	Santovac
Aroclors	Chorextol	EEC-18	Kennechlor	Polychlorinated biphenyls	Solvot
Arubren	Chorinol	Elaol	Kenneclor	Polychlorinated diphenyl	Sorol
Asbestol	Clophen	Electrophenyl	Leromoll	Polychlorinated diphenyls	Soval
ASK	Clophenharz	Elemex	Magvar	Polychlorobiphenyl	Sovol
Askael	Cloresil	Elinol	MCS 1489	Polychlorodiphenyl	Sovtol
Askarel	Clorinal	Eucarel	Montar	Prodelec	Terphenylchlore
Auxol	Clorphen	Fenchlor	Nepolin	Pydraul	Therminal
Bakola	Decachlorodiphenyl	Fenclor	No-Flamol	Pyraclor	Therminol
Biphenyl, chlorinated	Delor	Fenocloro	NoFlamol	Pyralene	Turbinol
Chlophen	Delorene	Gilotherm	Non-Flamol	Pyranol	

Elaboración propia con información CERI & ACDI & MMA, 2001; EPA, 2013.

## 1.2. Propiedades físicas y químicas

Producto de la síntesis por cloración progresiva<sup>2</sup> del bifenilo en presencia de un catalizador adecuado, los PCB son sustancias químicas orgánicas que forman parte de la familia de los hidrocarburos aromáticos clorados. Poseen excelentes propiedades aislantes, larga vida útil y no son inflamables, pero se consideran altamente peligrosos debido a sus características persistentes y acumulativas en el ambiente (tablas 2 y 3).

**Tabla 2. Número de identificación de mezclas comerciales de PCB**

Número DOT <sup>3</sup>	UN 2315
Número CAS <sup>4</sup>	1336-36-3
Número "Derecho a saber" <sup>5</sup>	1554

<sup>2</sup> Dependiendo de las condiciones de reacción, el grado de cloración varía entre el 21% y el 68% (p/p) (Ahlborg & Hanberg & Kenne, 1992).

<sup>3</sup> DOT – Department of Transportation of the United States [www.dot.gov](http://www.dot.gov)

<sup>4</sup> CAS - Chemical Abstracts Service [www.cas.org](http://www.cas.org)

<sup>5</sup> Las disposiciones del "Derecho a Saber" de la Comunidad ayudan a aumentar el conocimiento y el acceso del público a la información sobre las sustancias químicas utilizadas en las empresas, sus usos y los escapes o derrames en el medio ambiente (EPA, 2000).

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de mezclas comerciales de PCB

Propiedad	Unidad - referencia	Valor (intervalo)
Color	APHA	40 - 150
Estado físico	No aplica	Aceitoso, viscoso, resinoso o sólido
Estabilidad	No aplica	Inerte
Densidad	lb/gal (25°C)	9.85 - 13.50
Gravedad específica	(15.5 °C)	1.18 - 1.39
Rango de destilación	(°C)	275 - 420
Índice de acidez	mg KOH / g máximo	0.010 - 0.015
Punto de inflamación (fire point)	(°C)	176 - 238
Punto de relámpago (flash point)	(°C)	141 - 196
Presión de vapor	mmHg a 100°F (37.8°C)	0.00006 - 0005
Viscosidad	Centistokes	3.6 - 540

Elaboración propia con información de Monsanto, 1995; Concoll, 2014

**NOTA:** la apariencia de los PCB depende de su contenido de cloro, por ello pueden presentarse por ejemplo en forma de líquidos aceitosos, de mayor o menor viscosidad, incoloros o amarillentos en diferentes tonos, pero también como resinas duras con similares tonalidades llegando al negro.

En general, se puede concluir que la mayoría de congéneres PCB son compuestos líquidos, viscosos, incoloros o de color amarillo pálido y leve olor a hidrocarburo; son más pesados que el agua, muy estables y no inflamables. Adicionalmente, que los PCB puros, con la apa-

riencia de un plástico o silicona, se mezclan para mayor fluidez con diferentes solventes, como el clorobenceno, lo que exacerba los riesgos ambientales y ocupacionales de dichas mezclas.



◀ Muestras de aceites dieléctricos con diferentes concentraciones de PCB.



### 1.3. Manufactura y usos

Sintetizados por primera vez en el año 1881 por los científicos Schmitt & Schulz en Alemania, los PCB fueron manufacturados industrialmente –y para uso comercial– en el año 1929 por la empresa Monsanto (EPA, 2013). Su resistencia al fuego, reducida conductividad eléctrica, gran capacidad de aislamiento, baja volatilidad a condiciones normales de presión y temperatura, insolubilidad en agua, estabilidad química, no inflamabilidad y punto de ebullición a alta temperatura, son características industriales y de consumo que los popularizaron en el sector de generación y transmisión de energía eléctrica, siendo utilizados ampliamente en transformadores y condensadores; así mismo, como fluidos para transferencia de calor, *momentum* en sistemas hidráulicos y también en la fabricación de pinturas, recubrimientos y plásticos, entre otros.

Desde el punto de vista de la aplicación y la facilidad para ser liberados o escapar al ambiente, los PCB se pueden clasificar en sistemas cerrados, parcialmente cerrados o abiertos (IOMC UNEP, 1999). Una aplicación cerrada es aquella en la cual el fluido se encuentra completamente contenido dentro de unidades o equipos sellados o cerrados (v.g.: condensadores, reguladores, transformadores, motores eléctricos y electroimanes, entre otros), lo que reduce la probabilidad de ser liberados, salvo bajo circunstancias extremas tales como fugas accidentales, derrames o incendios. Por su parte, en aplicaciones parcialmente cerradas se reconoce que –en algún momento de la operación– el PCB entrará en contacto con el ambiente. En contraste, los sistemas abiertos implican que la sustancia tiene contacto directo con el ambiente natural o el organismo, y por ende puede movilizarse fácilmente en distintas matrices ambientales (aire, agua, suelo, biota)<sup>6</sup> (tabla 4).

**Tabla 4. Sistema, aplicación, localización y posibles usos de mezclas de PCB<sup>7</sup>**

Sistema	Descripción	Ubicación	Uso
Cerrado	Son unidades selladas o cerradas, donde -en condiciones normales- los PCB se mantienen dentro del equipo y no deberían liberarse, salvo cuando se efectúen labores de mantenimiento o reparación, o cuando el equipo sufra un daño o un incendio.	Instalaciones eléctricas	Transformadores, capacitores grandes y pequeños, balastos, reguladores de voltaje, disyuntores, reactancias de lámparas fluorescentes, electroimanes. Así mismo, bancos condensadores, reactores de potencia y reconectadores.
		Instalaciones industriales	Transformadores, capacitores, reguladores de tensión, disyuntores, reactancias de lámparas fluorescentes.
Parcialmente cerrado	Son aplicaciones en las cuales los PCB no están expuestos directamente al ambiente; sin embargo, dependiendo las condiciones en las que se utilice el equipo puede llegar a liberarse el compuesto.	Instalaciones eléctricas	Interruptores, reguladores de voltaje, cables con recubrimiento en el núcleo.
		Instalaciones industriales	Líquidos para transmisión de calor, fluidos hidráulicos, fluidos para sistemas de vacío, sistemas de extinción de incendios.
Abierto	En este tipo de sistemas, los PCB hacen parte de otros productos que se encuentran fácilmente en contacto con el ambiente y, por ende, con el ser humano.	Lubricación	Aceites refrigerantes de corte, aceites de inmersión y lubricación
		Recubrimientos	Pinturas para aplicaciones exigentes Tratamientos de superficie para textiles Papel de copia sin carbón (sensible a la presión) Retardantes de llama Control de polvo en líneas de conducción de gas
		Aislamientos	Aislamientos térmicos
		Adhesivos	Adhesivos a prueba de agua
		Plastificantes	Polímeros de PVC Sellantes de juntas Sellantes de vacío en concreto

Elaboración propia con información de: Dobson & van Esch, 1993, IOMC-UNEP, 1999; MAVDT, 2007; Neumeier, 1998;

<sup>6</sup> Para la fecha, 2015, tanto en Colombia como en el resto del mundo, los PCB se encuentran principalmente funcionando en sistemas cerrados.

<sup>7</sup> **Nota:** los usos reportados en la tabla son los indicados por diferentes autores en las referencias internacionales; sin embargo, para el caso colombiano se han encontrado principalmente en uso dentro de instalaciones eléctricas e industriales, actividades militares y mineras, servicios públicos de salud y educativos; en sistemas cerrados como transformadores, condensadores/capacitores, reguladores y balastos.

Debido a la magnitud de la operación, y por ende del potencial uso y volumen disponible, el sector eléctrico –a cualquier escala– es quien concentra los principales esfuerzos para el desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de los PCB, ya que cualquier equipo eléctrico que utiliza como medio aislante un fluido dieléctrico, bien sea condensador, regulador, balasto o transformador, teóricamente es probable que pueda contener o estar contaminado con estos compuestos orgánicos persistentes, salvo los casos en los cuales

poseen un certificado emitido por el fabricante del equipo en el cual consta que no fue fabricado con PCB y adicionalmente a ello, no ha sido sometido a ningún tipo de intervención del fluido dieléctrico que haya podido contaminarlo.

Sin embargo, es prudente enunciar que existen otros sectores como el militar institucional, el manufacturero, el turístico y el residencial, que también deben atender lo establecido en la normativa nacional en la materia<sup>8</sup>, y para los cuales este manual es de gran utilidad.

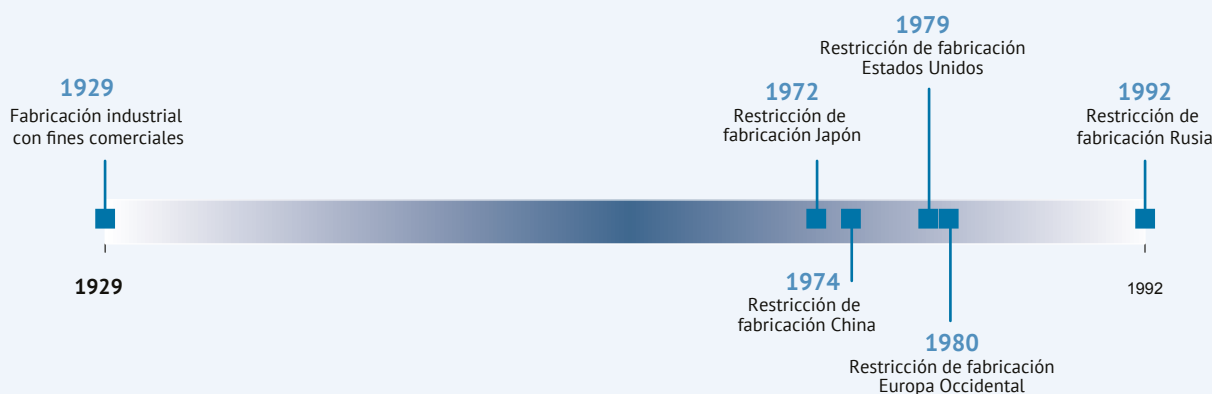
<sup>8</sup> En especial la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.

#### Recuadro 1. Reseña histórica sobre la fabricación de PCB

Los PCB fueron fabricados a partir del año 1929 en varios países con diferentes nombres comerciales, entre los cuales se encuentran: Askarel, Aroclor, Clophen, Kaneclor, Phenoclor, Pyranol, Pyraleno, entre otros. Su uso inicial se verificó en capacitores y posteriormente se hizo extensivo a transformadores (los primeros aislados con aceite PCB fueron puestos en servicio en el año 1931), pero debido a su comportamiento frente a los voltajes de impulso, la utilización de los Askareles en los transformadores estuvo restringida al rango de 34.5 kV a 7.5 MVA.

Las restricciones de fabricación se presentaron en 1972 (Japón), 1974 (China), 1979 (Estados Unidos), 1980 (Europa Occidental) y, 1992 (Rusia); y en el siglo XXI su producción y venta se encuentra prohibida a nivel mundial (figura 1). Es importante resaltar que en Colombia no se fabricaron estos compuestos, pero la importación de equipos y fluidos fue significativa para justificar su gestión y eliminación ambientalmente adecuada.

Figura 1. Línea de tiempo existente entre la fabricación industrial a gran escala de los PCB y su restricción de síntesis



La producción mundial total de PCB en el periodo de 1929 a 1977 se calcula en 1.2 millones de toneladas (aunque no hay datos confiables sobre la producción en los países del Bloque Oriental, donde la antigua Unión Soviética era un gran productor de estos compuestos) y aproximadamente la mitad ha sido empleada en transformadores y capacitores, lo que refleja la magnitud del potencial problema ambiental.

Elaboración propia con información de (IOMC-UNEP, 1999).





1.



2.



3.



4.

### 1.3.1. Los PCB en las instalaciones eléctricas e industriales

En el entendido de que un aceite que contenga PCB constituye un material no conductor dieléctrico con un punto bajo de inflamación y sin punto de ignición (lo que significa que permanecen estables ante incrementos de temperatura y sólo arden en contacto directo con una llama), es probable que se encuentre presente –como fluido dieléctrico, por contaminación cruzada, entre otros- en transformadores, condensadores, disyuntores, reguladores de voltaje y en sistemas de distribución y de potencia.

Los **transformadores** son aparatos que pueden aumentar o disminuir el nivel de voltaje de una corriente eléctrica; están compuestos generalmente por una cubeta o carcasa metálica, un núcleo de acero magnético, bobinas de cobre (cubiertas con una capa de material aislante, como resina o papel), separadores o cuñas de madera de diversas formas y, naturalmente, por el aceite dieléctrico<sup>9</sup>; en el cual están sumergidos todos los elementos que constituyen el circuito magnético. Por tal motivo, los materiales metálicos

y porosos del circuito magnético, como cuñas de madera, cartón, papel aislante y cubiertas de resina, quedan impregnados con aceite dieléctrico, y por ende son también considerados materiales o desechos con PCB. En este sentido, en su manejo se deben contemplar consideraciones ambientales semejantes a las de los fluidos dieléctricos contaminados con PCB.

Estos equipos pueden llegar a ser muy grandes si se utilizan para grandes voltajes y corrientes, o relativamente pequeños, si se ponen en la última etapa de la cadena de abastecimiento para suministrar energía a un sólo usuario u hogar, que necesite, por ejemplo, unos 220 voltios. Por eso, los transformadores varían mucho en cuanto a tamaño y forma. Regularmente, los transformadores de gran tamaño con PCB se han utilizado en circuitos que requieren medidas especiales de protección contra incendios, fundamentalmente en sistemas soterrados de distribución de electricidad, en edificios residenciales y comerciales y en instalaciones industriales que desarrollan producciones comburentes como las papeleras y las textileras. También se han

- ◀ 1. Reconector
- 2. Transformador
- 3. Interruptores
- 4. Banco de condensadores.

<sup>9</sup> En la relación porcentual del peso total del transformador, la masa metálica de la carcasa compone aproximadamente el 10% de peso, el circuito magnético el 60% y el aceite dieléctrico el 30%.

reportado en grandes plantas que necesitan de un alto voltaje o que generan su propia electricidad como las acerías, plantas de montaje y fabricación, instalaciones militares, etc. (CERI & ACDI & MMA, 2001).

Se debe tener en cuenta que durante las operaciones de mantenimiento, los transformadores de aceite mineral u otro tipo de aceite dieléctrico, pueden contaminarse con PCB en niveles bajos<sup>10</sup>, debido al uso de las mangueras, máquinas de filtración, bombas, etc., que previamente han estado en contacto con equipos que contienen o que están contaminados con PCB, situación que exigiría su gestión bajo los lineamientos de este manual.

Para acumular y mantener una carga eléctrica se utilizan los **condensadores**, que se componen principalmente de placas conductoras de electricidad (láminas metálicas delgadas) separadas por un material dieléctrico, es decir, no conductor. Estas placas son dos bobinas de láminas metálicas, que están separadas eléctricamente, y cada una tiene contactos que salen del condensador. El material dieléctrico suele ser un fluido dieléctrico que puede o no contener PCB (PNUMA & IOCM, 2002).

Los **balastos** son pequeñas configuraciones compuestas por un transformador, capacitor y un interruptor eléctrico térmico, que individualmente pueden considerarse sujetos de la gestión y eliminación<sup>11</sup>; los cuales en muchos casos forman parte de lámparas o dispositivos para iluminación, razón por la cual, los propietarios de grandes volúmenes de inventario de accesorios para lámparas fluorescentes o neón instalados (v.g.: edificios institucionales, conjuntos residenciales o alumbrados públicos) deberán recoger y eliminar de manera ambientalmente adecuada los balastos que se hayan identificado con PCB o los balastos provenientes de los Estados Unidos de América fabricados antes de 1980, de los cuales se desconozca si contienen o no PCB<sup>12</sup>. Debido a los graves riesgos sobre el medio ambiente y la salud de las personas, actualmente está prohibida la fabricación y comercialización de PCB en el mundo, y su uso se ha mantenido en viejos transformadores y



◀ **Subestación eléctrica.**

condensadores hasta el final de su vida útil, los cuales son fáciles de identificar. Sin embargo, la tarea de identificar aceites y equipos que no han sido fabricados con PCB, sino que fueron contaminados con estas sustancias durante su vida útil por otras vías, es prioritaria para el sector eléctrico (**Ver recuadro 2**).

Por otro lado, la liberación al ambiente de un PCB se considera una situación inadmisibles y crítica en la gestión; por tal motivo, es menester prestar atención a los casos recurrentes en los cuales existe un riesgo ambiental u ocupacional, a saber: a) derrames accidentales de aceite PCB o contaminado con PCB; b) vaciado intencional del aceite dieléctrico contaminado con PCB contenido en equipos, para el reciclaje de partes metálicas o reemplazo de fluido; c) mezcla de aceite libre de PCB con aceites que contengan PCB; d) fugas de fluido PCB por deterioro de la carcasa o recipiente; e) uso de fluido de PCB como combustible y; f) quema indiscriminada de residuos contaminados con PCB<sup>13</sup>.

---

**10** Es reconocido mundialmente que del 7 al 15 % de todos los transformadores de aceite mineral, se han contaminado inadvertidamente con PCB (CERI & ACDI & MMA, 2001).

---

**11** En estos equipos tan pequeños se emplearon los PCB puros, con las concentraciones de 10.000 a 40.000 ppm de PCB, cuya cantidad de 0,5 o 0,2 litros, dependiendo de su manejo podría resultar más riesgosa para el hombre y el ambiente que el aceite de muchos transformadores con aceite mineral contaminado por PCB en concentraciones menores de 500 ppm (IOCM-UNEP, 1999).

---

**12** Los balastos de luz fluorescente se fabricaban con condensadores de PCB pequeños antes de 1979 en los Estados Unidos, antes de 1984 en Europa occidental y antes de 1990 en Europa oriental. Los balastos fabricados en Estados Unidos después del año 1979 están etiquetados en la carcasa que indica "sin PCB" o "no PCB", por lo tanto, cualquier balasto no etiquetado, proveniente de este país y fabricado antes del 1980, debe considerarse y manejarse como PCB (EPA, 1993).

---

**13** Aunque normalmente los PCB no se liberan de manera intencional y deliberada, su aparición en el medio natural se debe principalmente al desconocimiento sobre el tema que redundan en un manejo irresponsable.





## Recuadro 2. Formas por la cuales equipos no PCB pueden haberse contaminado

Regularmente las prácticas industriales de mantenimiento, almacenamiento y transporte hicieron que los PCB pasaran a otros tipos de equipos y elementos, aumentando así el número de unidades y sistemas contaminados. El uso de compuestos orgánicos persistentes para mejorar la calidad del aceite dieléctrico, la contaminación cruzada durante labores de fabricación o mantenimiento de equipos y el cambio de PCB con aceite mineral u otro tipo de aceite dieléctrico libre de PCB son las principales formas de impregnación:

- i. **El uso de PCB para mejorar la calidad del aceite dieléctrico:** debido a las ventajas técnicas y a la alta miscibilidad con los aceites minerales, los PCB han sido utilizados como un aditivo mejorador de los aceites convencionales.
- ii. **La contaminación cruzada de los aceites minerales u otro tipo de aceite dieléctrico libre de PCB durante las operaciones de fabricación o mantenimiento de equipos:** una vez pasado un aceite que contiene PCB por la máquina de filtración, se contaminan tanto el medio filtrante como los demás materiales, aumentando el riesgo de contaminación de los aceites minerales u otro tipo de aceite dieléctrico libre de PCB que se filtren posteriormente en el mismo equipo. Es por ello que se deben implementar rigurosamente las buenas prácticas para este tipo de actividades.
- iii. **El cambio de los PCB de los transformadores por aceites dieléctricos libres de PCB:** esta operación consiste en drenar del transformador el aceite dieléctrico que contenía PCB, para reemplazarlo con un aceite mineral u otro aceite dieléctrico libre de PCB, práctica que termina usualmente contaminando el nuevo aceite con trazas de estos compuestos orgánicos, debido a su alto potencial de impregnación, especialmente en las partes porosas del transformador, tales como las cuñas de madera de los bloques, los cartones y las resinas.

### Elaboración propia con información de CERl & ACDI & MMA, 2001

#### 1.3.2. Tipos de equipos y desechos de PCB

Los equipos que se deben considerar como PCB, independientemente de su estado de uso, desuso o desecho, son aquellos que hayan contenido o contengan fluidos dieléctricos en estado líquido en concentraciones iguales y/o superiores a 50 ppm PCB, como los descritos en la [tabla 4](#): transformadores eléctricos, condensadores eléctricos (utilizados generalmente en grupos llamados bancos de condensadores), interruptores, reguladores, reconectores u otros dispositivos, así como cualquier otro material o elemento que entre en contacto directo con estos en alguna actividad.

Entre los equipos con PCB más comunes en las instalaciones eléctricas e industriales, se encuentran aquellos que fueron diseñados y fabricados para operar utilizando fluidos dieléctricos de alta concentración de PCB denominados comúnmente como Askarel u otros

nombres comerciales -usualmente 40% y 80% para transformadores y hasta el 100% en condensadores- (IOMC-UNEP, 1999).

Es importante resaltar que en los sectores comercial, institucional y doméstico también pueden existir equipos eléctricos contaminados con PCB, así como ambientes contaminados en los cuales se hayan presentado derrames (que regularmente no son aislados, clausurados o declarados). Igualmente cuando un equipo o fluido PCB es consumido por las llamas, es muy probable que en las emisiones se presenten altas concentraciones de PCB, dioxinas y furanos, dos sustancias altamente tóxicas -más que los PCB- generadas por la descomposición térmica de bifenilos policlorados bajo condiciones de déficit de oxígeno. Estas especies químicas pueden dispersarse fácilmente, contaminando grandes áreas naturales o centros urbanos, volviéndolos peligrosos para la salud (CERl & ACDI & MMA, 2001).

No. 1. Generalidades y Conceptos Básicos  
sobre Bifenilos Policlorados - PCB

1. Marco conceptual de los PCB



1. Transformadores de potencial

2. Condensadores

3. Contenedores con aceites  
dieléctricos residuales

4. Material poroso impregnado con  
aceite dieléctrico.

Entre los residuos o desechos contaminados con PCB se pueden mencionar: a) los equipos desechados; b) las superficies no porosas de equipos (cubeta o carcasa metálica, el núcleo de acero magnético y bobinas de cobre, entre otras); c) los desechos líquidos contenidos (fluidos o aceites dieléctricos); d) los suelos contenidos; e) el material de muestreo; f) la ropa contaminada (guantes, mangueras y accesorios) y; g) cualquier otro elemento que entre en contacto con el fluido o aceite contaminado con PCB.

Todos los equipos y desechos mencionados anteriormente, deben ser marcados, identificados (analizados) y aquellos que cuenten con las concentraciones iguales o superiores a 50 ppm PCB deberán ser retirados de uso, almacenados y gestionados según lo establecido en la normativa ambiental vigente.

#### 1.4. Liberación no intencional de PCB

Es importante resaltar que algunos bifenilos policlorados pueden ser liberados al ambiente de manera no intencional<sup>14</sup>, cuyas fuentes furtivas están asociadas con procesos que liberan altas cantidades de energía, a saber: a) incineración de residuos; b) coprocesamiento asociado a la coincineración; c) combustión de residuos peligrosos en hornos cementeros; d) producción de pasta de papel utilizando cloro elemental; e) cremación; f) combustión de biomasa; g) síntesis química de cloranil y clorofenoles y; h) procesamiento de aceites usados, entre otros. Asimismo, las quemas a cielo abierto o incendios (tabla 5).

Dichas fuentes deberán propender por la minimización progresiva de las descargas o emisiones de PCB, manteniendo como objetivo último: su eliminación, lo cual se puede alcanzar mediante la aplicación de estrategias de producción más limpia (buenas prácticas de manufactura, modificaciones en el proceso o sustitución de insumos) y el control al final del tubo mediante el uso de sistemas de tratamiento de gases.

<sup>14</sup> El artículo 5 del Convenio de Estocolmo considera adicionalmente los siguientes compuestos orgánicos persistentes de producción no intencional sujetos a reducción de emisiones: las dibenzoparadioxinas y los dibenzofuranos policlorados (PCDD – PCDF), el hexaclobenceno (HCB) y el pentaclobenceno (PeCB).




**Tabla 5. Potenciales fuentes que pueden liberar PCB de manera no intencional<sup>15</sup>**

Tipo de fuente	Proceso
Fuente fija puntual	Incineración de residuos
	Coprociamiento asociado a la coincineración
	Combustión de residuos peligrosos en hornos cementeros
	Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental
	Cremación
	Combustión de biomasa
	Síntesis química de cloranil y clorofenoles
	Procesamiento de aceites usados
	Calefacción doméstica
Fuente fija difusa	Quemas a cielo abierto
	Incendios en botaderos a cielo abierto
	Quema de cable de cobre para su recuperación
	Tratamiento de maderas con hidrocarburos aromáticos policíclicos
Fuente móvil	Combustión en motores que utilicen aditivos y lubricantes halogenados

Elaboración propia con información de MAGRAMA (2004).

**15 Nota:** las fuentes potenciales reportadas en la tabla son las indicadas por diferentes autores en las referencias internacionales; sin embargo, para el caso colombiano no se cuenta con mediciones o estimaciones relacionadas con la liberación no intencional de PCB, sino que la gestión de estas sustancias se ha dirigido al uso de las mismas, principalmente en instalaciones eléctricas e industriales, actividades militares y mineras, servicios públicos de salud y educativos; a través de sistemas cerrados como por ejemplo transformadores, condensadores/capacitores, reguladores y balastos, entre otros.



# 2.

## CONSIDERACIONES AMBIENTALES DE LOS PCB



## Contenido Numeral 2

2.1.	Persistencia	20
2.2.	Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación	21
2.3.	Toxicidad de los PCB	23
2.4.	Subproductos	25
2.5.	Pasivos ambientales	26



Las excelentes propiedades para el uso industrial de los PCB hacen que sean inalterables bajo condiciones normales de presión y temperatura. Su estabilidad química y térmica los hace persistentes (recuadro 3) en las diferentes matrices ambientales, razón por la cual se encuentran dentro del alcance de aplicación del Convenio de Estocolmo. De igual manera, presentan una gran capacidad de movilizarse<sup>16</sup>, bioacumularse y biomagnificarse, con el agravante de su toxicidad.

### 2.1. Persistencia

El incremento de la concentración ambiental de los PCB es uno de los principales efectos adversos que produce su enorme persistencia, de tal forma que mantienen el crecimiento de la concentración ambiental, incluso en los casos en que la liberación al ambiente haya cesado. Esto se debe a que no se alcanza el equilibrio entre la tasa de liberación y la remoción del contaminante o que éste no puede ser degradado hasta alcanzar su concentración ambiental natural.

**16** Estas sustancias se encuentran en todo el planeta, incluso en lugares en los que nunca han sido producidos o utilizados, como el Ártico y el Antártico (Bidleman, Walla, Muir & Stern, 1993 e Iwata, Tanabe, Sakai, & Tatsukawa, 1993), por lo tanto se convierte en un problema global y no particular de algunos países.

**17** La velocidad de remoción de los PCB, y por tanto su persistencia, depende de las características de la sustancia, la degradación bacteriana, la estabilidad química y la capacidad de transferencia hacia otro sistema entre otros.

#### Recuadro 3. Persistencia de una sustancia química

La persistencia se establece a partir del concepto de vida media ( $t_{1/2}$ ), que desde la cinética química se define como el tiempo necesario para que se reduzca a la mitad la concentración inicial de un producto o sustancia química (ecuaciones 1 y 2). Por lo tanto, el tiempo requerido para que la concentración de un contaminante presente en los compartimentos ambientales disminuya a la mitad permite medir la persistencia, la cual en función de la reactividad del compuesto, dependerá o no de la concentración inicial del mismo (LaGreca *et al.*, 1996; Vallejo & Baena, 2007: 153).

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad \text{Cinéticas de primer orden (ecuación 1)}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k \times [A]_0} \quad \text{Cinéticas de segundo orden (ecuación 2)}$$

Donde:  $k$  es la constante de velocidad específica  
 $[A]_0$  es la concentración inicial de la sustancia A

Teniendo en cuenta este concepto, el Convenio de Estocolmo cataloga como contaminantes orgánicos persistentes (COP) toda sustancia, producto o compuesto cuya vida media en el aire sea mayor a 2 días, en el agua superior a 2 meses, y en suelo o sedimento mayor a los 6 meses<sup>17</sup> (tabla 6). En mérito de lo anterior, y considerando que una sustancia química necesita, en promedio, como mínimo 5 vidas medias para reducir su concentración original a una razón del 3%, se requerirían 2,5 años para que la cantidad de PCB en un suelo o sedimento se reduzca a un 3% (CONAMA & PNUMA, 2004).

**Tabla 6. Vida media de algunos de los congéneres de PCB**

Congéneres de PCB	Vida Media (aire)		Vida Media (agua)		Vida Media (suelo)	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
<b>Diclorobifenilos</b>	15 días	1 día	años	años	330 días	210 días
<b>Triclorobifenilos</b>	24,5 días	2 días	años	años	510 días	150 días
<b>Octaclorobifenilos</b>	477 días	22 días	Resistentes a biodegradación	Resistentes a biodegradación	Más de 5 años	No Disponible

Elaboración propia con información de EPA, 1998

La enorme cantidad de congéneres conlleva a que en el momento de realizar una caracterización de PCB en un fluido dieléctrico, se deban realizar diversos ensayos analíticos que permitan la identificación de los tipos particulares de PCB que contiene, para así poder establecer su grado de persistencia y las acciones para reducir el riesgo ambiental asociado.

Elaboración propia con información de CONAMA & PNUMA, 2004; EPA, 1998; (LaGreca *et ál.*, 1996; Vallejo & Baena, 2007: 153)

## 2.2. Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación

La concentración de los PCB en los sistemas naturales y organismos vivos se logra a través de tres fenómenos, a saber: *bioacumulación*, *bioconcentración* y *biomagnificación*. El primer proceso se verifica cuando la presencia de una sustancia química en un organismo sólo se incrementa desde y hacia el medio circundante (figura 2), dinámica que incluye el efecto en la concentración interna de un organismo a partir de la ingesta, distribución, metabolismo y eliminación del contaminante (CONAMA & PNUMA, 2004). Este proceso determina que, por las propiedades toxicológicas del compuesto orgánico persistente, la concentración sea más alta en el organismo. Por su parte, la *bioacumulación* se presenta cuando, una vez alcanzada una condición de equilibrio, la concentración de un contaminante se incrementa progresivamente como consecuencia del cambio en la relación de absorción y de eliminación de un organismo (Vallejo & Baena, 2007).

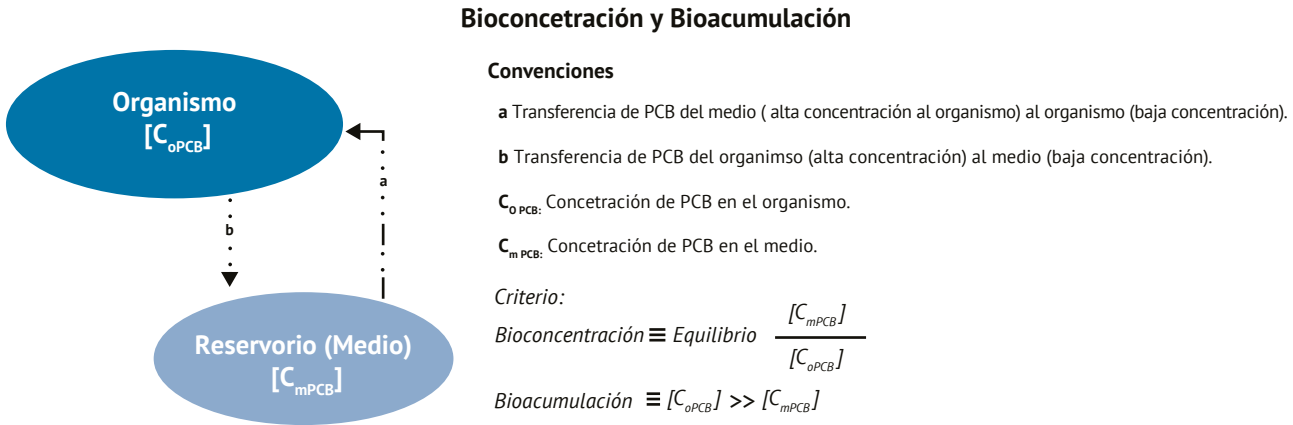
Si además de los procesos anteriores, se presenta un incremento en la concentración del contaminante en un organismo a través de la cadena trófica, el fenómeno se

denomina *biomagnificación*; el cual puede comprometer varios eslabones de la cadena alimenticia y múltiples organismos (figura 3). La concentración del PCB estará condicionada por el hábito de alimentación del organismo, el número y proporción de las comidas ingeridas y el potencial de movilización de la sustancia química desde los alimentos hasta el organismo, así como en su interior.

De esta manera, la *bioacumulación*, la *bioconcentración* y la *biomagnificación* conllevan a que una cantidad determinada de PCB, liberada al ambiente de manera accidental o intencional, se acumule y magnifique a través de la cadena trófica; siendo el último eslabón los seres humanos, quienes estaríamos alcanzando la máxima concentración de este compuesto orgánico persistente al ingerir alimentos provenientes de un medio contaminado.

**18** El riesgo de intoxicación con PCB por inhalación es mínimo debido a la baja presión de vapor de estas sustancias. La mayoría de los envenenamientos reportados se deben fundamentalmente a la ingestión de la sustancia a través de alimentos (CONAMA & PNUMA, 2004).

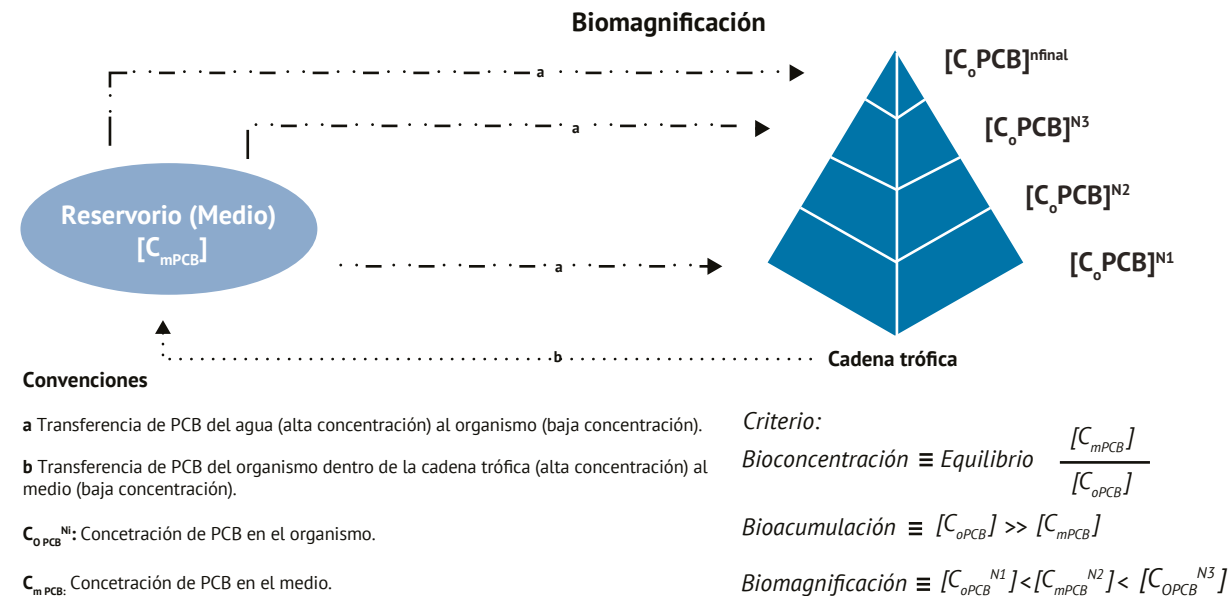
Figura 2. Esquema del proceso de bioconcentración de PCB



Elaboración propia con información de CONAMA & PNUMA, 2004

**Nota explicativa:** si el organismo no contiene PCB y el medio que lo rodea está contaminado, inicialmente se produce la transferencia neta de la sustancia hacia el organismo (línea de flujo a) y si por lo contrario el medio no contiene PCB y el organismo si, entonces la transferencia neta del contaminante ocurre primero del organismo hacia el medio (línea de flujo b). En un momento dado –si no se inyecta más contaminante en el medio- la transferencia de masa alcanzará una condición de equilibrio; la cual depende fundamentalmente de las características del medio (pH, acidez, contenido de carbón disuelto, temperatura, presión, etc.), de algunas características del organismo (capacidad del mismo de metabolizar la sustancia y su contenido de grasas) y de las propiedades de la sustancia (solubilidad, presión de vapor, constante de Henry, coeficiente de difusión, coeficientes de partición, etc.).

Figura 3. Esquema del proceso de biomagnificación de PCB



Elaboración propia con información de CONAMA & PNUMA, 2004; Vallejo & Baena, 2007.



### 2.3. Toxicidad de los PCB

La liberación accidental o deliberada de un PCB se considera peligrosa por la toxicidad de este tipo de compuesto orgánico persistente, la cual depende de la concentración del contaminante en el medio, la vía de exposición (medio de contacto con el organismo), la ruta de exposición (etapa de acceso al ser humano), la dosis recibida y la frecuencia de exposición (LaGreca *et ál.*, 1996). Existen tres rutas de exposición a través de las cuales los PCB pueden ingresar al organismo: por inhalación - sistema respiratorio (inhalación de vapores de PCB y gases de combustión solo en aquellos casos en los que esté en contacto directo con llamas)<sup>18</sup>, ingestión - sistema digestivo (consumo de alimentos, agua y leche materna proveniente de una madre contaminada) y absorción a través de la piel durante labores y accidentes de trabajo, o a través de la placenta de una madre afectada (figura 4).

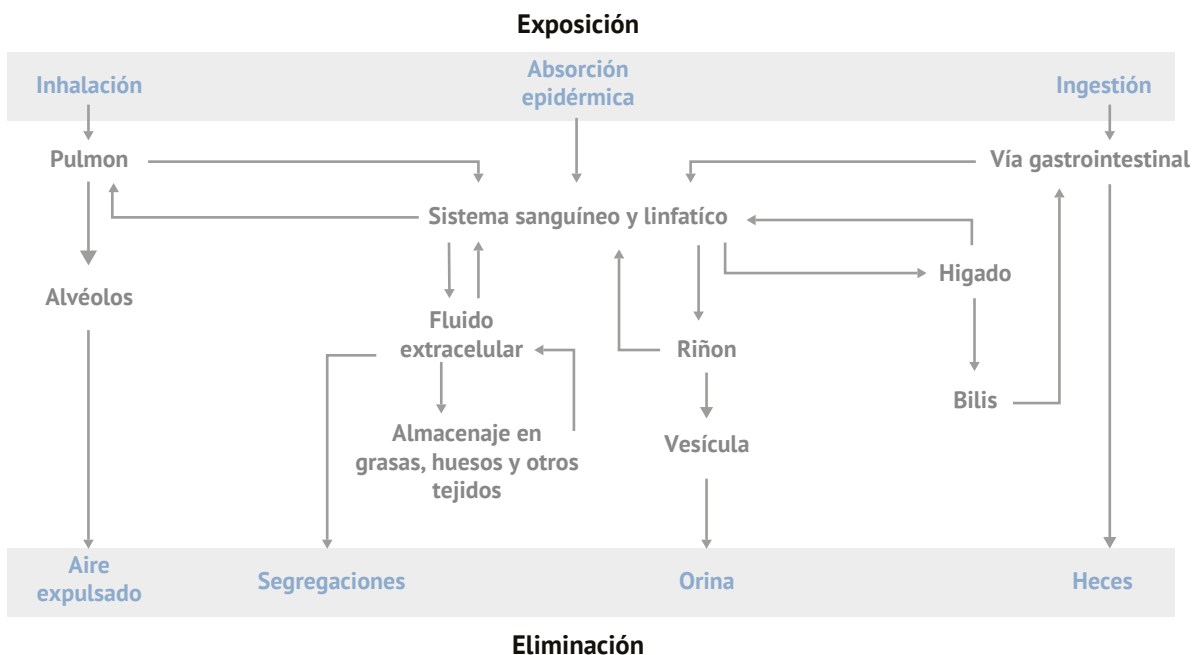
Una vez que ingresan estos compuestos al organismo vivo (humano o animal), difícilmente son hidrolizados y, por

ende, no son expulsados en la orina, heces o sudor; por el contrario, se acumulan en el organismo, alojándose principalmente en tejido graso. De tal manera que los efectos en la salud se presentan principalmente en el mediano o largo plazo, con las siguientes afecciones crónicas, a saber: a) irritación de los ojos, hipersecreción de las glándulas lagrimales y conjuntivitis; b) daños hepáticos y deficiencias o hipertrofia enzimática; c) anemia e hiperleucocitosis; d) efectos reproductivos; e) irritaciones cutáneas e hiperpigmentación y cloracné; f) daños al sistema nervioso. Por su parte, los bebés gestados por una madre intoxicada tienden a tener bajo peso al nacer, y mostrar anomalías óseas (CONAMA & PNUMA, 2004).

Es importante resaltar que los mayores riesgos los asumen las personas que trabajan en los sectores productores, usuarios o de mantenimiento de equipos eléctricos, así como en las etapas de limpieza, tratamiento y eliminación de PCB. De tal forma, aunque en el país no se han establecido los límites ocupacionales de exposición a los PCB y sustancias relacionadas, se puede ha-

<sup>19</sup> Otras normas son: **Resolución 2400 de 1979**, Estatuto de Higiene y Seguridad Industrial, artículo 112. *Como complemento de la protección colectiva se dotará a los trabajadores expuestos a radiaciones ultravioletas, de gafas o máscaras protectoras con cristales coloreados, para absorber las radiaciones, guantes o manguitos apropiados y cremas aislantes para las partes que queden al descubierto.* **Resolución 2309 de 1986**. Manejo, uso, disposición y almacenamiento de residuos especiales. **Resolución 983 de 2001**. Se conforma la Comisión Nacional de Salud Ocupacional del Sector Eléctrico. **Resolución 1402 de 2006**. Por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos. **Resolución 1013 de 2008**. Por la cual se adoptan las Guías de Atención Integral de Salud Ocupacional Basadas en la Evidencia para asma ocupacional, trabajadores expuestos a benceno, plaguicidas inhibidores de la colinesterasa, dermatitis de contacto y cáncer pulmonar relacionados con el trabajo.

**Figura 4. Proceso de absorción, transferencia, acumulación, transformación y expulsión de PCB en el organismo**



Elaboración propia con información de LaGreca *et ál.*, 1996.

cer uso de la estructura normativa vigente<sup>19</sup> en Colombia para asuntos de salud ocupacional, en especial el Estatuto de Higiene y Seguridad Industrial. (recuadro 4)

En mérito de lo anterior, y de acuerdo con lo establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales - ACGIH (por sus siglas en inglés) (2014) y las respectivas hojas de seguridad provenientes del mayor fabricante de PCB en los Estados Unidos de América (Monsanto, 1995) y el Departamento de Salud de New Jersey – NJHealth (por sus siglas en inglés) (2014), el valor límite de exposición a PCB en el ambiente laboral TLV - TWA<sup>20</sup> (tabla 7) se encuentra entre los 0,5 mg/m<sup>3</sup> y 1 mg/m<sup>3</sup> dependiendo del porcentaje de cloración de la molécula de PCB (de 42 a 54% de cloro), donde TLV - TWA (por sus siglas en inglés) corresponde al **Valor Límite Umbral - Media Ponderada en el Tiempo**, que significa “la concentración media ponderada

en el tiempo para una jornada de trabajo diaria de 8 horas hasta las 40 horas semanales a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores, repetidamente día tras día, sin efectos adversos” (ACGIH, 2014).

Sin embargo, es necesario resaltar que la introducción de estos compuestos en los sistemas naturales representa un peligro directo para los organismo individuales y sus funciones como especie y ecológicas. Por tal motivo, la evaluación de la especificidad del congénere PCB, su magnitud, la transitoriedad o permanencia de los efectos ecológicos potenciales es determinante para valorar el riesgo ecológico y, por ende, el de las personas que habitan un ambiente contaminado (figura 6).

#### Recuadro 4. Consideraciones del Estatuto de Higiene y Seguridad Industrial aplicables a los riesgos asociados a PCB en Colombia

El Estatuto de Higiene y Seguridad Industrial reglamentado mediante Resolución 2400 de 1979, expedida por el Ministerio de Salud, en el Capítulo VIII establece lo siguiente:

*[...] Artículo 153. Entiéndase por “concentración máxima permisible” la concentración atmosférica de un material peligroso que no alcanza a afectar la salud de un trabajador a ella expuesto en jornada diaria de 8 horas, durante un prolongado período.*

*Artículo 154. En todos los establecimientos de trabajo en donde se lleven a cabo operaciones y procesos con sustancias nocivas o peligrosas que desprendan gases, humos, neblinas, polvos, etc. y vapores fácilmente inflamables, con riesgos para la salud de los trabajadores, se fijarán los niveles máximos permisibles de exposición a sustancias tóxicas, inflamables o contaminantes atmosféricos industriales, en volumen en partes de la sustancia por millón de partes de aire (ppm), en peso en miligramos de la sustancia por metro cúbico de aire (mg/m<sup>3</sup>); o en millones de partículas por pie cúbico de aire (ppm) de acuerdo con la tabla establecida por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), o con los valores límites permisibles fijados por el Ministerio de Salud [...].*

Tabla 7. Límites de Exposición para los PCB (contacto dermal)

Porcentaje de cloración	OSHA (mg/m <sup>3</sup> )	NIOSH (mg/m <sup>3</sup> )	ACGIH (mg/m <sup>3</sup> )	IDLH (mg/m <sup>3</sup> )
Clorodifenil 42% cloro	1 (TWA 8h)	0.001 (TWA 10h)	1 (TWA 8h)	5
Clorodifenil 54% cloro	0.5 (TWA 8h)		0.5 (TWA 8h)	

Elaboración propia con información de: ACGIH (2014), Monsanto (1995), NJHealth (2014).

<sup>20</sup> TLV – TWA. Threshold Limit Value - Time Weighted Average.

Figura 5. Respuesta toxicológica de los PCB

Foco	Transporte, transformación y destino			Exposición	Respuesta del organismo		Respuesta de la comunidad y el ecosistema
PCB Compuesto Orgánico Persistente	Procesos Biogeoquímicos			Organismos	Propiedades fisiológicas del PCB	Efectos letales y de morbilidad	Características y dinámica de la población afectada (reproducción, selección, mortalidad)
	Aire	Agua	Suelo / sedimento	Concentraciones ambientales			
	Matrices Ambientales			Matrices ambientales	Estructura y función de la comunidad afectada (Diversidad, relaciones predador - presa)		
							Matrices ambientales (Tasa de respiración a fotosíntesis, proporción de los ciclos y modelos de flujo de nutrientes)

Elaboración propia con información de LaGreca *et ál.*, 1996.

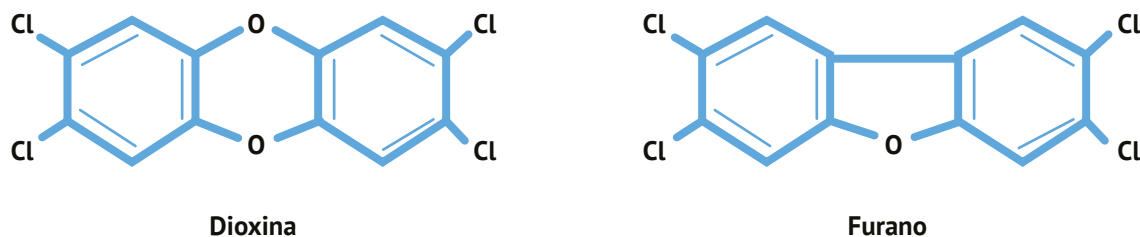
## 2.4. Subproductos

Cuando un PCB o un equipo o desecho que los contenga, es sometido a altas temperaturas (superiores a 300°C), puede producir dioxinas y/o furanos como subproductos (figura 6), los cuales son compuestos extremadamente peligrosos de alta toxicidad ( $LD_{50}$ : 0.02 – 0.05 mg/kg). Por tal razón, se pueden encontrar trazas de estos en aceites dieléctricos que se hayan incendiado o generado en ellos debido a chispas por cortos u otro mal funcionamiento.

La exposición aguda a altas concentraciones de dioxinas puede causar lesiones cutáneas (cloracné, hirsutismo,

hiperpigmentación), alteraciones funcionales hepáticas (inducción enzimática, necrosis de células peranquimales, hipertrofia e hiperplasia), alteraciones de parámetros hémicos (hipoglucemia, incremento en la concentración de colesterol y triglicéridos), inmunotoxicidad (atrofia del timo), entre otros. Por su parte, la exposición prolongada se ha relacionado con inmunodeficiencia, depresión del sistema nervioso y endocrino, así como de la función reproductora. Por último, las dioxinas y furanos son catalogados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer – CIIC como carcinogénicos humanos (Casanovas, 1996; WHO, 2004).

Figura 6. Estructura química de las dioxinas y los furanos



## 2.5. Pasivos ambientales

Debido a la cantidad utilizada en los distintos sectores de la economía, principalmente el eléctrico, durante varias décadas, de manera masificada y bajo el desconocimiento de los riesgos ambientales y ocupacionales, los PCB liberados al ambiente antes de la sanción de la normativa ambiental vigente<sup>21</sup> representan –adicionalmente- una deuda ambiental y social no considerada en la estructura contable de las empresas, conformándose así un pasivo ambiental, el cual se define como “la suma de los daños no compensados producidos por una empresa al medio ambiente, a lo largo de su historia, en su actividad normal o en caso de un accidente” (Martínez-Alier & O’Connor, 1996).

De tal forma, si toda persona natural o jurídica responsable de la liberación intencional o accidental de PCB en el territorio colombiano tuviera que responder por los daños ambientales ocasionados por la bioconcentración, bioacu-

mulación y biomagnificación de estos compuestos, evidentemente se reduciría el margen de utilidad o ganancia. Por tal motivo, el costo en el que incurriría esta persona, sería función de una obligación cuantificable económicamente; de tal forma que el pasivo debería ser perceptible, cuantificable y valorable. Así mismo, y en términos jurídicos, esta obligación podría ser de carácter legal, administrativo, contractual o judicial (Russi & Martínez Alier, 2002:123).

El reto del país es lograr la identificación de los pasivos ambientales existentes en cuanto a disposición y liberación deliberada o accidental de los PCB; y posteriormente, mediante la aplicación de un método de valoración –proveniente de la economía ambiental- establecer el valor monetario del daño ambiental; y posteriormente, asegurar que la persona natural o jurídica lo compense, ya sea por los daños realizados o para prevenir los nuevos (Russi & Martínez Alier, 2002). Situación que puede llegar a ser compleja, cuando se desconoce el generador o propietario.

<sup>21</sup> En especial la Ley 1196 de 2008 de la República de Colombia mediante la cual se aprueba el “Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes,” hecho en Estocolmo el 22 de mayo de 2001, la “Corrección al artículo 1o del texto original en español”, del 21 de febrero de 2003, y el “Anexo G al Convenio de Estocolmo”, del 6 de mayo de 2005 y la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se establecen los requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB).

### Recuadro 5. Marco jurídico para el efecto de los pasivos ambientales en Colombia

El país cuenta con instrumentos administrativos para prevenir y controlar los efectos adversos al medio ambiente generados por cualquier proyecto, obra de infraestructura o actividad industrial, a saber: a) la licencia ambiental y el régimen de transición correspondiente y, b) los permisos, concesiones y autorizaciones expedidas por las distintas autoridades ambientales. Por su parte, el marco jurídico colombiano establece referentes para la actuación de la comunidad o de la autoridad ambiental:

**Constitución Política: artículo 80:** “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

**Ley 23 de 1973: artículo 16:** “El Estado será civilmente responsable por los daños ocasionados al hombre o a los recursos naturales de propiedad privada como consecuencia de acciones que generen contaminación o detrimento del medio ambiente. Los particulares lo serán por las mismas razones o por el daño o uso inadecuado de los recursos naturales de propiedad del Estado”.

**Ley 99 de 1993: artículo 1, numeral 6:** “La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”.

**Ley 99 de 1993: artículo 5, numeral 10:** “Determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y las actividades mineras, industriales, de transporte y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales”.



**Ley 99 de 1993. artículo 31, numeral 12:** “Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprenderá el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. Estas funciones comprenden la expedición de las respectivas licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos”

**Ley 99 de 1993: artículo 31, numeral 17:** “Imponer y ejecutar a prevención y sin perjuicio de las competencias atribuidas por la ley a otras autoridades, las medidas de policía y las sanciones previstas en la ley, en caso de violación a las normas de protección ambiental y de manejo de recursos naturales renovables y exigir, con sujeción a las regulaciones pertinentes, la reparación de los daños causados”

**Ley 99 de 1993: artículo 42: literal b (Reglas para fijar las tasas):** “El Ministerio del Medio Ambiente teniendo en cuenta los costos sociales y ambientales del daño y los costos de recuperación del recurso afectado, definirá anualmente las bases sobre las cuales se hará el cálculo de la depreciación”.

**Ley 99 de 1993: artículo 42, literal c:** “El cálculo de la depreciación incluirá la evaluación económica de los daños sociales y ambientales causados por la respectiva actividad. Se entiende por daños sociales, entre otros, los ocasionados a la salud humana, el paisaje, la tranquilidad pública, los bienes públicos y privados y demás bienes con valor económico directamente afectados por la actividad contaminante. Se entiende por daño ambiental el que afecte el normal funcionamiento de los ecosistemas o la renovabilidad de sus recursos y componentes”.

**Ley 99 de 1993: artículo 42:** “[...] Con base en el conjunto de reglas establecidas en el sistema de que trata el inciso anterior, el Ministerio del Medio Ambiente aplicará el siguiente método en la definición de los costos sobre cuya base hará la fijación del monto tarifario de las tasas retributivas y compensatorias: a. A cada uno de los factores que incidan en la determinación de una tasa, se le definirán las variables cuantitativas que permitan la medición del daño; [...]”.

**Ley 99 de 1993: artículo 66:** “Competencias de Grandes Centros Urbanos. Los municipios, distritos o áreas metropolitanas cuya población urbana fuere igual o superior a un millón (1'000.000) de habitantes ejercerán dentro del perímetro urbano las mismas funciones atribuidas a las Corporaciones Autónomas Regionales, en lo que fuere aplicable al medio ambiente urbano. Además de las licencias ambientales, concesiones, permisos y autorizaciones que les corresponda otorgar para el ejercicio de actividades o la ejecución de obras dentro del territorio de su jurisdicción, las autoridades municipales, distritales o metropolitanas tendrán la responsabilidad de efectuar el control de vertimientos y emisiones contaminantes, disposición de desechos sólidos y de residuos tóxicos y peligrosos, dictar las medidas de corrección o mitigación de daños ambientales y adelantar proyectos de saneamiento y descontaminación”

**Ley 99 de 1993: artículo 85:** tipos de Sanciones: Sanciones, [...]; d. Demolición de obra, a costa del infractor, cuando habiéndose adelantado sin permiso o licencia, y no habiendo sido suspendida, cause daño evidente al medio ambiente o a los recursos naturales renovables. [...] Medidas Preventivas: [...] c. Suspensión de obra o actividad, cuando de su prosecución pueda derivarse daño o peligro para los recursos naturales renovables o la salud humana, o cuando la obra o actividad se haya iniciado sin el respectivo permiso, concesión, licencia o autorización; d. Realización dentro de un término perentorio de los estudios y evaluaciones requeridas para establecer la naturaleza y características de los daños, efectos e impactos causados por la infracción, así como las medidas necesarias para mitigarlas o compensarlas.

**Ley 23 de 1973 (artículo 4) y Decreto Ley 2811 de 1974 (artículo 8):** “Se entiende por contaminación la alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él, por actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la Nación o de los particulares. Se entiende por contaminante cualquier elemento, combinación de elementos, o forma de energía que actual o potencialmente pueda producir alteración ambiental de las precedentemente descritas”.

**Ley 430 de 1998 y Decreto 4741 de 2005, artículo 19.** “De la responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios. Aquellas personas que resulten responsables de la contaminación de un sitio por efecto de un manejo o una gestión inadecuada de residuos o desechos peligrosos, estarán obligados entre otros, a diagnosticar, remediar y reparar el daño causado a la salud y el ambiente, conforme a las disposiciones legales vigentes”.

**Código Penal, artículo 33<sup>22</sup>.** Daños en los recursos naturales. “El que con incumplimiento de la normatividad existente destruya, inutilice, haga desaparecer o de cualquier otro modo dañe los recursos naturales a que se refiere este título, o a los que estén asociados con estos, incurrirá en prisión de cuarenta y ocho (48) a ciento ocho (108) meses y multa de ciento treinta y tres punto treinta y tres (133.33) a quince mil (15.000) salarios mínimos mensuales legales La pena se aumentará de una tercera parte a la mitad cuando:

- Se afecten ecosistemas naturales, calificados como estratégicos que hagan parte del Sistema Nacional, Regional y Local de las áreas especialmente protegidas.
- Cuando el daño sea consecuencia de la acción u omisión de quienes ejercen funciones de control y vigilancia”.

**Código Penal, artículo 33<sup>23</sup>.** Contaminación Ambiental. “El que con incumplimiento de la normatividad existente, provoque, contamine o realice directa o indirectamente emisiones, vertidos, radiaciones, ruidos, depósitos o disposiciones al aire, la atmósfera o demás componentes del espacio aéreo, el suelo, el subsuelo, las aguas terrestres, marítimas o subterráneas o demás recursos naturales, en tal forma que ponga en peligro la salud humana o los recursos faunísticos, forestales, florísticos o hidrobiológicos, incurrirá, sin perjuicio de las sanciones administrativas a que hubiere lugar, en prisión de cincuenta y cinco (55) a ciento doce (112) meses y multa de ciento cuarenta (140) a cincuenta mil (50.000) salarios mínimos mensuales vigentes.

La pena se aumentará de una tercera parte a la mitad cuando en la comisión de cualquiera de los hechos descritos en el artículo anterior sin perjuicio de las que puedan corresponder con arreglo a otros preceptos de este Código concurra alguna de las circunstancias siguientes:

1. Cuando la conducta se realice con fines terroristas sin que la multa supere el equivalente a cincuenta mil (50.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.
2. Cuando la emisión o el vertimiento supere el doble de lo permitido por la normatividad existente o haya infringido más de dos parámetros.
3. Cuando la contaminación, descarga, disposición o vertimiento se realice en zona protegida o de importancia ecológica.
4. Cuando la industria o actividad realice clandestina o engañosamente los vertimientos o emisiones.
5. Que se hayan desobedecido las órdenes expresas de la autoridad administrativa de corrección o suspensión de las actividades tipificadas en el artículo anterior.
6. Que se haya ocultado o aportado información engañosa o falsaria sobre los aspectos ambientales de la misma”.

Elaboración propia con información de MAVDT & OEI, 2008.

---


<sup>22</sup> Modificado por el artículo 33 de la Ley 1453 de 2011.

---

<sup>23</sup> Modificado por el artículo 34 de la Ley 1453 de 2011.







# 3.

## MARCO PARA LA GESTIÓN DE LOS PCB EN COLOMBIA





### Contenido Numeral 3

3.1.	Antecedentes técnicos	32
3.2.	Marco normativo y política ambiental	34
3.3.	Plan nacional de aplicación	34
3.4.	Metas para la gestión integral de PCB en Colombia	36
3.5.	Prohibiciones	36

La implantación del Convenio de Estocolmo en Colombia se ha logrado mediante el establecimiento de un marco normativo, el fortalecimiento técnico para la gestión, la formulación de lineamientos y la realización de inventarios preliminares de PCB.

### 3.1. Antecedentes técnicos

Los primeros avances específicos para la gestión ambiental de los PCB en el país se dieron en el año 1997, a partir de un proyecto colaborativo de asistencia técnica para el manejo de estas sustancias entre los Gobiernos de Canadá y Colombia (con una duración de cuatro años), a través del Canadian Energy Research Institute - CERI, y con el apoyo de la firma consultora *Douglas White & Associates*, así como con una contraparte a nivel nacional del entonces Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y el Ministerio de Minas y Energía.

En el marco de este proyecto, se adelantaron una serie de actividades tendientes a contar con una primera aproximación sobre la cantidad de PCB existentes en el país (1998) a través de encuestas a los sectores productivos e instituciones relacionadas en el año de referencia. A partir de las cifras estimadas, el CERI elaboró la propuesta de estrategia nacional de eliminación de PCB (2001).

Así mismo, se adelantaron acciones para la elaboración de la primera versión del **Manual de Manejo de PCB**

para Colombia (1999 - 2001), publicado como informe final CERI (CERI & ACDI & MMA, 2001) a partir del cual se elaboraron dos documentos internos de trabajo en los años 2007 y 2013 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

A partir de estos documentos iniciales de trabajo y en el marco del actual Proyecto de desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia<sup>24</sup>, se han estructurado diversos proyectos recientes en materia de PCB, incluyendo la elaboración de este nuevo material de referencia denominado *Manual para la gestión integral de bifenilos policlorados - PCB*.

Una vez suscrito el Convenio de Estocolmo<sup>25</sup>, el país continuó avanzado en el logro de los objetivos de identificación, prevención, reducción y eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes y sus residuos. A partir del año 2003, se desarrollaron una serie de actividades cuyo objetivo era conocer la situación nacional de los contaminantes orgánicos persistentes (COP). Dichas acciones fueron coordinadas y adelantadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) con recursos de donación del Global Environment Facility - GEF y de la Agencia Canadiense para la Cooperación Internacional, con el apoyo del Banco Mundial.

Algunos de los proyectos adelantados en el marco de la donación fueron: a) Inventario nacional preliminar

<sup>24</sup> Proyecto COL 84851/71268

<sup>25</sup> Colombia suscribió en el año 2001 el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, de los que hacen parte los bifenilos policlorados (PCB), y posteriormente lo ratificó mediante la Ley 1196 del 05 de junio de 2008.



de bifenilos policlorados (PCB) (recuadro 6); b) Asistencia técnica para el manejo y divulgación del riesgo; c) Evaluación de la capacidad nacional, infraestructura disponible y marco regulatorio existente para la gestión de los COP en el país; d) Evaluación de los impactos a la salud (pública y ocupacional) asociados a los contaminantes orgánicos persistentes (COP); e) Evaluación de las implicaciones económicas y sociales del uso y reducción de los COP, incluyendo las necesidades para el mejoramiento de la capacidad nacional evaluación de las implicaciones sociales y económicas del uso y reducción de los COP en Colombia y; f) Asistencia técnica para la formulación del plan nacional de aplicación para la gestión de los contaminantes orgánicos persistentes (COP) en el marco de la Convención de Estocolmo.

Por otra parte, y en relación con la generación de una **capacidad analítica** para PCB en los laboratorios existentes en el país, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, en el año 1999 a través de su Programa de Físicoquímica Ambiental y en el marco del proyecto colaborativo entre Canadá y Colombia, inició acciones en aras de lograr la estandarización de protocolos para el análisis de PCB, así como para promover la competencia de los laboratorios de ensayo en el análisis de estos compuestos.

Posteriormente, entre los años 2010 a 2013, el IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adelantaron nuevos proyectos en esta materia, cuyos resultados se concretaron con la sanción de la Resolución 0792 de 2013 del IDEAM, mediante la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis para la determinación del contenido de PCB en aceites dieléctricos y diferentes matrices ambientales.

Como otra de las líneas estratégicas de trabajo en materia de PCB, desde el año 2010 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el IDEAM, a partir de los insumos disponibles hasta el momento, elaboraron conjuntamente el diseño y desarrollo de un instrumento de **gestión de información para el inventario de PCB**, del cual se derivó una herramienta informática de diligenciamiento *web* con el fin de facilitar el levantamiento, acopio, procesamiento y divulgación de información de dicho inventario, la cual se reglamentó con la Resolución 222 de 2011 y se implementó a partir del año 2012, operando con alrededor de 870 propietarios de PCB inscritos a marzo de 2015.

Posteriormente, Colombia recibió en el año 2013, a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, una nueva donación del Global Environment Facility

#### Recuadro 6. Síntesis del resultado del inventario de PCB del año 2007 en Colombia

Las cifras estimadas de existencias de PCB obtenidas en el inventario preliminar publicado en el año 2007, se encuentran en un valor aproximado de 10.073 a 13.199 toneladas (Ton), principalmente asociadas a la probable existencia a nivel nacional de PCB puros en transformadores en uso y desuso, y en transformadores contaminados con esta sustancia en uso y desuso; de igual manera, en otro tipo de equipos, aceites y residuos contaminados con PCB y condensadores importados (MAVDT, 2007).

Así mismo, el inventario arrojó las siguientes grandes conclusiones: a) escasez de inventarios precisos y actualizados, así como dificultad en la identificación de equipos con PCB; b) manejo inadecuado de los equipos y aceites que contienen PCB; c) alta probabilidad de contaminación cruzada y por ende alta dispersión del contaminante; d) insuficiente sensibilización y capacitación; e) desconocimiento acerca de la naturaleza de los PCB, su potencial de riesgo y afectación a la salud humana y al ambiente; f) vacíos en la reglamentación aplicable a los PCB hasta ese momento (Ley 430 de 1998 y el Decreto 4741 de 2005); g) escasez en la prestación de servicios para la gestión externa de PCB (MAVDT, 2007) y; h) Falta de tecnologías para la gestión de PCB.

Elaboración propia con información de MAVDT, 2007.

- GEF para implantar un proyecto que permitiera desarrollar estrategias para fortalecer la capacidad nacional en el manejo y la eliminación de las existencias de PCB, denominado “*Desarrollo de la capacidad para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de los PCB*”, el cual tiene los siguientes componentes: a) fortalecimiento del marco legal, administrativo y regulatorio para la gestión adecuada de los PCB; b) desarrollo de la capacidad nacional para la gestión (incluyendo la eliminación) ambientalmente racional de los PCB y; c) gestión (incluyendo la eliminación) ambientalmente racional de los PCB a través del desarrollo de proyectos pilotos.

### 3.2. Marco normativo y política ambiental

El 22 de mayo de 2001 se culminó en Estocolmo el texto del Convenio que lleva su nombre, del cual Colombia hace parte desde el año 2002 y cuyo objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (COP), de los cuales hacen parte los bifenilos policlorados (PCB). Posteriormente, el 5 de junio de 2008, se promulga la Ley 1196 mediante la cual Colombia ratificó su participación.

Por otra parte, en el año 2005 Colombia emitió su Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos, la cual en su objetivo 3 relacionado con “*Implementar los compromisos internacionales relacionados con sustancias y residuos peligrosos*” prevé como una de sus estrategias específicas para este objetivo, formular el Programa Nacional para la Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y como una de sus estrategias generales, impulsar la actualización y armonización del marco normativo, de la cual hace parte la expedición de la normativa pertinente, especialmente en lo relacionado con el manejo de bifenilos policlorados (PCB) y otros residuos peligrosos (Respel) de prioridad para estos compromisos internacionales.

En este sentido, en el mismo año se expide el Decreto 4741, por el cual se reglamentan parcialmente la

prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral, lo cual es aplicable a los bifenilos policlorados (PCB) e incluye de manera explícita algunas prohibiciones asociadas a estas sustancias.

En concordancia con lo anterior, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide en el año 2011 la Resolución 222, mediante la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con bifenilos policlorados (PCB), a partir de la cual se adelantan actualmente diversas acciones en el marco del proyecto PNUD – GEF – Minambiente denominado “*Desarrollo de la capacidad para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de los PCB*”.

Estos instrumentos de política pública se refuerzan aún más con la Ley 1252 de 2008<sup>26</sup>, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos en Colombia, e indudablemente, por el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

### 3.3. Plan nacional de aplicación

Como parte de los compromisos adquiridos con la firma y ratificación de la Convención de Estocolmo, el país a través del hoy denominado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, formuló y publicó en el año 2010 el *Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo*, dentro del cual se encuentra el *Plan Nacional de Acción para los Bifenilos Policlorados (PCB)* (véase el anexo 1); el cual tiene como objetivo identificar y gestionar los PCB en Colombia, así como reducir y eliminar gradualmente los efectos de su manejo inadecuado.

Para dar cumplimiento a la meta, se plantearon los siguientes objetivos específicos, a saber: a) identificar las existencias de equipos, aceites, desechos y materiales contaminados con PCB; b) minimizar los

<sup>26</sup> Esta ley tiene como objeto regular todo lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos en el territorio nacional, según lo establecido en el Convenio de Basilea y sus anexos, asumiendo la responsabilidad de minimizar la generación de residuos peligrosos en la fuente, optando por políticas de producción más limpia; proveyendo la disposición adecuada de los residuos peligrosos generados dentro del territorio nacional, así como la eliminación responsable de las existencias de estos dentro del país. Art. 1 Ley 1252 de 2008.



riesgos derivados del uso, almacenamiento, manipulación, transporte, tratamiento y eliminación de equipos, aceites, desechos y suelos contaminados con PCB y; c) eliminar los equipos, aceites y desechos contaminados con PCB de forma ambientalmente segura y remediar los suelos contaminados con estas sustancias (tabla 8).

Tabla 8. Objetivos, estrategias y líneas estratégicas del Plan Nacional de Acción para los PCB

Objetivo	Estrategia	Línea estratégica
Identificar las existencias de equipos, aceites, desechos y materiales contaminados con PCB	Identificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliación y mejoramiento de los inventarios de PCB, con base en el principio y en las acciones de autogestión.</li> </ul>
Minimizar los riesgos derivados del uso, almacenamiento, manipulación, transporte, tratamiento y eliminación de equipos, aceites, desechos y suelos contaminados con PCB	Prevención	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control efectivo para evitar la importación indebida de PCB</li> <li>Establecimiento de criterios, normas y procedimientos para las empresas prestadores de servicios de mantenimiento de equipos eléctricos y aceites dieléctricos.</li> <li>Aplicación de medidas de control sobre la transferencia de aceites dieléctricos y equipos eléctricos desactivados hacia recicladores y chatarreros.</li> </ul>
	Reducción del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollo de programas de desactivación y retiro de uso, de equipos eléctricos contaminados con PCB.</li> <li>Mejoramiento del manejo interno de los equipos, aceites y materiales contaminados con PCB.</li> <li>Desarrollo de lineamientos para garantizar una gestión externa ambientalmente adecuada de PCB.</li> </ul>
Eliminar los equipos, aceites y desechos contaminados con PCB de forma ambientalmente segura y remediar los suelos contaminados con estas sustancias	Eliminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Creación de mecanismos para atraer y hacer visible la oferta de servicios de gestión ambientalmente racional de equipos, aceites y materiales contaminados con PCB.</li> <li>Eliminación de las existencias de aceites, equipos y materiales contaminados con PCB.</li> <li>Gestión ambientalmente adecuada de suelos contaminados con PCB.</li> </ul>

Elaboración propia con información de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010).

### 3.4. Metas para la gestión integral de PCB en Colombia

De acuerdo con la normativa ambiental vigente aplicable para la gestión integral de PCB<sup>27</sup>, las principales metas en materia de marcado e identificación de los equipos sometidos a inventario, retiro de uso de equipos contaminados con PCB y eliminación ambientalmente adecuada de desechos contaminados con PCB, se sintetizan a continuación:

**Tabla 9. Metas de marcado e identificación, retiro de uso y eliminación de PCB**

Actividad	Meta	Fecha límite
Marcado e identificación	30% del total del inventario de equipos	31 de diciembre de 2016
	60% del total del inventario de equipos	31 de diciembre de 2020
	100% del total del inventario de equipos	31 de diciembre de 2024
Retiro de uso	100% de equipos contaminados con PCB	31 de diciembre de 2025
Eliminación ambientalmente adecuada*	100% de existencias y desechos contaminados con PCB, identificados y marcados a 2016	31 de diciembre de 2017
	100% de existencias y desechos contaminados con PCB, identificados y marcados a 2020	31 de diciembre de 2022
	100% de existencias y desechos contaminados con PCB, identificados y marcados a 2024	31 de diciembre de 2028

\* Para zonas no interconectadas, la fecha límite de eliminación de la totalidad de existencias identificadas y marcadas, es el 31 de diciembre de 2028.

#### Elaboración propia a partir de información de la Resolución 222 de 2011 -Minambiente

### 3.5. Prohibiciones

Se debe tener en cuenta que las prohibiciones relacionadas con PCB establecidas en el artículo 32 del Decreto 4741 de 2005 se refieren a la importación de residuos, desechos y elementos que contengan bifenilos policlorados, así como a la transferencia de equipos contaminados. Por su parte, la Resolución 222 de 2011, establece las prohibiciones relacionadas con la producción, importación, uso y exportación de PCB o equipos contaminados, así como la dilución de estos contaminantes, entre otras acciones.

<sup>27</sup> En especial los artículos 7, 9 y 27 de la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.





# Anexo 1

## Acciones y metas previstas en el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2010

LÍNEA ESTRATÉGICA 1: IDENTIFICACIÓN				
ACCIONES	RESPONSABLES	Factor Crítico de Éxito / Supuestos	METAS	INDICADORES
Ampliar y mantener actualizado el inventario de PCB, con base en el principio y en las acciones de autogestión	Poseedor Minambiente, Minminas Gremios de los sectores propietarios de PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocimiento por los poseedores de la obligatoriedad anual del reporte de información</li> <li>Implementación del Inventario Nacional de PCB</li> <li>Norma específica para PCB</li> <li>Formulación e implementación del Plan de Gestión de PCB</li> <li>Métodos analíticos validados por el IDEAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar la herramienta para el inventario de PCB al 2012.</li> <li>30% del total de sus equipos clasificados, identificados y etiquetados a más tardar el 31 de diciembre del año 2016.</li> <li>60% del total de sus equipos clasificados, identificados y etiquetados a más tardar el 31 de diciembre del año 2020.</li> <li>100% del total de los equipos de los propietarios de PCB clasificados, identificados y etiquetados a más tardar el 31 de diciembre del año 2024.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nº de Autoridades Ambientales con su inventario de PCB actualizado</li> <li>Nº de Poseedores de PCB registrados / Nº de Poseedores de PCB totales</li> <li>No. de equipos identificados / No. de equipos totales</li> </ul>
Desarrollar una estrategia de comunicación para dar a conocer a los poseedores de PCB que tienen que registrar y notificar sus existencias de PCB a la Autoridad Ambiental.	Minambiente Autoridades ambientales competentes (AAC) Mesa Nacional de PCB Gremios de los sectores propietarios de PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Norma específica para PCB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>80% de los propietarios de PCB reportados en el Inventario Nacional de PCB al año 2015</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de poseedores reportados en el Inventario Nacional de PCB anualmente</li> </ul>
Diseñar y ejecutar planes de control y seguimiento para la verificación de la información suministrada por los propietarios de PCB.	Autoridades ambientales competentes (AAC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Norma específica para PCB</li> <li>Autoridades ambientales capacitadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planes de control y seguimiento en ejecución por parte de las Autoridades Ambientales en cuyas jurisdicciones se reporten las mayores concentraciones de PCB al 2012</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nº de informes de gestión adelantada por las autoridades ambientales competentes para el periodo solicitado.</li> </ul>
Identificar otros sectores y artículos que contengan más de 50 ppm de PCB, tales como: revestimientos de cables, calafateado curado y objetos pintados, y tomar acciones conducentes al manejo adecuado de estos residuos	Minambiente MCIT MPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avances considerables en el plan de acción para equipos eléctricos y aceites dieléctricos</li> <li>Experiencias internacionales en el tema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programa de identificación en ejecución al año 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programa en ejecución</li> </ul>
LÍNEA ESTRATÉGICA 2: PREVENCIÓN				
ACCIONES	RESPONSABLES	Factor Crítico de Éxito / Supuestos	METAS	INDICADORES
Fortalecer los controles para evitar la importación indebida de PCB	Minambiente MPS MCIT DIAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compromiso institucional.</li> <li>Programa de aduanas verdes.</li> <li>Reglamentos técnicos y sistemas de registro implementados.</li> <li>Fortalecimiento institucional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todos los equipos eléctricos que contengan aceites dieléctricos que ingresen al país con certificado de libre de PCB a partir del 2012.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nº de programas de capacitación sobre importación indebida de PCB ejecutados</li> <li>Nº de registros de entrada al país de equipos eléctricos sin PCB</li> </ul>
Establecer criterios, normas y procedimientos para las empresas prestadoras de servicios de mantenimiento de equipos eléctricos con aceites dieléctricos.	Minambiente Minminas Autoridades Ambientales competentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compromiso institucional.</li> <li>Capacidad técnica de empresas de mantenimiento de equipos eléctricos con aceites dieléctricos.</li> <li>Apoyo financiero a las empresas de mantenimiento de equipos eléctricos con aceites dieléctricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guías técnicas ambientales elaboradas en el 2012</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guías técnicas y manuales de procedimientos publicados y adoptados</li> </ul>
Desarrollar e implementar medidas de control sobre la transferencia de aceites dieléctricos y equipos eléctricos desactivados, hacia recicladores y chatarreros	Minambiente Autoridades ambientales competentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normas sobre PCB emitidas</li> <li>Capacidad técnica de las AAC para el control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medidas de control emitidas y adoptadas en el 2013</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de control implementados</li> </ul>





LÍNEA ESTRATÉGICA 3: REDUCCIÓN DEL RIESGO				
ACCIONES	RESPONSABLES	Factor Crítico de Éxito / Supuestos	METAS	INDICADORES
Desarrollar programas de desactivación y retiro de uso de equipos eléctricos contaminados con PCB	Propietarios de PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de la normativa específica para PCB (regulación a las fechas límites de uso)</li> <li>Divulgación efectiva de la regulación</li> <li>Programas de identificación de equipos contaminados con PCB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>90% de las empresas del sector eléctrico entregan sus planes de gestión de PCB al año 2012</li> <li>100% de los equipos contaminados con PCB identificados y retirados de uso al 2025</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de empresas con actividades concretas de desactivación en los planes de gestión de PCB/ No. de empresas de otros sectores reportadas en el Registro de Generadores</li> <li>No. de equipos desactivados reportados en el informe anual de gestión / N° de equipos en uso reportados en el inventario de PCB</li> </ul>
Mejorar el manejo interno de los equipos, aceites y materiales contaminados con PCB	Propietarios de PCB Autoridades Ambientales competentes (AAC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formulación e implementación del plan de gestión de PCB</li> <li>Compromiso institucional en programas de certificación</li> <li>Actualización y divulgación efectiva del Manual de gestión integral de PCB para Colombia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100% de las medidas propuestas en el plan de gestión de PCB implementadas</li> <li>A partir del 2012 informes de seguimiento por parte de las autoridades ambientales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de medidas propuestas en el plan de gestión de PCB / No. de medidas implementadas</li> <li>No. de visitas de control y seguimiento</li> <li>Informes de control y seguimiento</li> </ul>
Desarrollar lineamientos para garantizar una gestión externa ambientalmente adecuada de PCB	Minambiente Minminas Autoridades ambientales competentes (AAC) MCIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actualización y divulgación efectiva del Manual de gestión integral de PCB para Colombia</li> <li>Simplificar trámites y unificar los criterios para la obtención de licencias ambientales</li> <li>Convenio interinstitucional entre MCIT y Minambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contar con los servicios de gestión de PCB que requiere el país, al año 2017.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de alternativas disponibles de gestión externa de PCB con licencia ambiental</li> </ul>
LÍNEA ESTRATÉGICA 4: ELIMINACIÓN				
ACCIONES	RESPONSABLES	FCE	METAS	INDICADORES
Crear mecanismos para atraer y hacer viable la oferta de servicios de gestión ambientalmente racional de equipos, aceites y materiales contaminados con PCB	Minambiente MCIT Minminas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convenio interinstitucional entre Minambiente y MCIT</li> <li>Compromiso institucional</li> <li>Actualización y difusión del inventario nacional de PCB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Declaración oficial de las tecnologías ambientalmente aceptadas a nivel nacional para PCB al año 2013</li> <li>Oferta de servicios suficiente al 2017 para abastecer la demanda nacional</li> <li>1 Unidad de tratamiento y/o descontaminación de elementos con PCB centralizada o móvil en el país al 2017 o</li> <li>4 Unidades de tratamiento y/o descontaminación de elementos con PCB ubicadas en zonas aledañas a las principales ciudades del país al 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de investigaciones sobre tecnologías ambientalmente aceptadas para manejo de PCB realizadas</li> <li>No. de licencias otorgadas para la gestión ambientalmente racional de PCB.</li> </ul>
Eliminar las existencias de aceites, equipos y materiales contaminados con PCB	Propietarios de PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compromiso institucional</li> <li>Equipos contaminados identificados</li> <li>Infraestructura instalada</li> <li>Gestores de servicios en el mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El total de las existencias identificadas y etiquetadas al año 2016, eliminadas al 2017.</li> <li>El total de las existencias identificadas y etiquetadas al año 2020 eliminadas al 2022</li> <li>El total de las existencias identificadas y etiquetadas al año 2024 eliminadas al 2028.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. de equipos, tratados, descontaminados o eliminados / No. de equipos reportados en el Inventario Nacional de PCB</li> <li>Toneladas de equipos, aceites o materiales contaminados con PCB tratados, descontaminados o eliminados / Toneladas de equipos, aceites o materiales contaminados con PCB reportados en el Inventario Nacional de PCB</li> </ul>
Gestionar de forma ambientalmente adecuada los suelos contaminados con PCB	Propietarios de PCB Minambiente Autoridades Ambientales competentes (AAC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cooperación internacional, capacidad técnica y analítica, normas sobre suelos contaminados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas para la gestión de suelos contaminados iniciados al año 2012</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios de investigación sobre gestión de suelos contaminados con PCB realizados</li> <li>Programas de gestión de suelos contaminados implementados</li> </ul>

Fuente: Adaptado del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. MAVDT, 2010

# Glosario

<b>Bioacumulación.</b>	Incremento progresivo de la concentración de un contaminante como consecuencia del cambio en la relación entre la absorción y la eliminación del mismo en un organismo.
<b>Biomagnificación.</b>	Incremento en la concentración del contaminante en un organismo a través de la cadena trófica.
<b>Coincineración.</b>	Proceso térmico cuyo objetivo es producir energía o productos materiales y utilizar los residuos como combustible habitual o complementario.
<b>Coprocesamiento.</b>	Integración ambientalmente segura de los residuos de una industria o fuente conocida a otro proceso productivo.
<b>Cloracné.</b>	Erupción cutánea en forma de acné que acompaña la intoxicación por sustancias cloradas.
<b>Células parenquimales.</b>	Células que hacen del órgano algo completamente funcional.
<b>Hirsutismo.</b>	Crecimiento excesivo de vello áspero en mujeres, en zonas donde no suele presentarse: cara, espalda, axilas y parte superior de labios.
<b>Mesa Nacional de PCB.</b>	Espacio interinstitucional creado por Minambiente con el apoyo de Andesco para discutir temas de interés relacionados con la gestión integral de los PCB en Colombia. De esta mesa participan tanto entidades y empresas públicas como privadas que tengan relación con la gestión de PCB.
<b>TLV- TWA.</b>	Valor límite umbral – Media ponderada en el tiempo, que significa la concentración media ponderada en el tiempo para una jornada de trabajo diaria de 8 horas hasta las 40 horas semanales a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores, repetidamente día tras día, sin efectos adversos.



# Acrónimos – Siglas

<b>AAC</b>	Autoridades ambientales competentes	<b>PCB</b>	Bifenilos policlorados – PCB (por sus siglas en inglés)
<b>ACIH</b>	Conferencia Americana de Higienistas Industriales (por sus siglas en inglés)	<b>PEN</b>	PCB Elimination Network
<b>CAS</b>	Chemical Abstracts Service	<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>COP</b>	Contaminantes orgánicos persistentes	<b>PPM</b>	Partes por millón
<b>DIAN</b>	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales	<b>QR</b>	Quick Response Code
<b>DOT</b>	Department of Transportation of the United States	<b>Respel</b>	Residuos Peligrosos
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (USA)	<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>GEF</b>	Fondo Mundial para el Medio Ambiente – GEF (por sus siglas en inglés)	<b>SDL</b>	Sistema de distribución local
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	<b>SIN</b>	Sistema interconectado nacional
<b>MCIT</b>	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	<b>STN</b>	Sistema de transmisión nacional
<b>Minminas</b>	Ministerio de Minas y Energía	<b>TLV-TWA</b>	Valor límite umbral – Media ponderada en el tiempo.
<b>Minambiente</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia	<b>TSCA</b>	Toxic Substances Control Act
<b>MPS</b>	Ministerio de Protección Social	<b>UNEP</b>	United Nations for Environment Program (conocido también como PNUMA)
<b>NIOSH</b>	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (por sus siglas en inglés)	<b>UNIDO</b>	United Nations for Industrial Development Organization
		<b>ZNI</b>	Zonas no interconectadas

# Referencias

- American Conference of Industrial Hygienists – ACGIH (2014).** *Resources*. Recuperado el día 18 de agosto de 2014 de: <http://www.acgih.org/>
- Ahlborg & Hanberg & Kenne. Institute of Environmental Medicine (1992).** *Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs)*. Estocolmo, Suecia.: Ahlborg & Hanberg & Kenne.
- Bidleman, Walla, Muir & Stern (1993).** *Selective accumulation of polychloro-camphenes in aquatic biota from the canadian Arctic*. Environmental Toxicology and Chemistry Volume 12, Issue 4, pages 701 – 709, April 1993.: Bidleman, Walla, Muir & Stern.
- Casanovas, J. (1996).** *Dioxinas y furanos. Problemática ambiental y metodología analítica*. Madrid, España.: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes – CNRCOP (2014).** *Bifenilos Policlorados – PCB*. Recuperado el día 10 de agosto de 2014: <http://www.cnrkop.es/gc/publicaciones>
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1973).** *Ley 23 de 1973*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1974).** *Decreto Ley 2811 de 1974*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1993).** *Ley 99 de 1993*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1998).** *Ley 430 de 1998*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (2000).** *Ley 599 de 2000, Código Penal Colombiano*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (2008).** *Ley 1196 de 2008*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (2008).** *Ley 1252 de 2008*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (2011).** *Ley 1453 de 2011*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013).** *Resolución 0792 de 2013*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1979).** *Resolución 2400 del 22 de mayo de 1979*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Salud (1986).** *Resolución 2309 del 24 de febrero de 1986*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2001).** *Resolución 983 del 4 de junio de 2001*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio del Medio Ambiente – MMA & Canadian Energy Research Institute - CERI & Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional - ACIDI (2001).** *Informe final – manual de manejo de PCB para Colombia*. Bogotá, Colombia.: s. p.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2005).** *Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Bogotá, Colombia.: MAVDT.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2005).** *Decreto 4741 de 2005*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006).** *Resolución 1402 del 17 de julio de 2006*. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2007).** *Inventario preliminar de compuestos bifenilos policlorados (PCB) existentes en Colombia*. Bogotá, Colombia.: MAVDT & PNUD & Banco Mundial.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2007).** *Documento interno de trabajo sobre actualización del Manual Técnico de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Bogotá, Colombia.: MAVDT.



**Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT & Organización de Estados Iberoamericanos – OEI (2008).** *Aspectos jurídicos de la gestión de pasivos ambientales.* Bogotá, Colombia.: MAVDT & OEI.

**Colombia. Ministerio de la Protección Social (2008).** *Resolución 1013 del 25 de marzo de 2008.* Bogotá, Colombia.

**Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010).** *Plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes COP, en la República de Colombia - PNA.* Bogotá, Colombia.: MAVDT.

**Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011).** *Resolución 222 de 2011.* Bogotá, Colombia.: MADS.

**Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013).** *Documento interno de trabajo sobre actualización del Manual Técnico de Bifenilos Policlorados (PCB).* Bogotá, Colombia. s.p.

**Colombia. República de Colombia (1991).** *Constitución Política de Colombia.* Bogotá, Colombia.

**Connetituc College - Concoll (2014).** *Material Safety Data Polychlorinated Biphenyls (PCBs).* New London, EE.UU.: Environmental Health Department.

**Comisión Nacional del Medio Ambiente – CONAMA & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2004).** *Manual de Chile sobre el manejo de bifenilos policlorados (PCB; Askareles): Un estudio de caso sobre la aplicación de guías.* Santiago de Chile, Chile.: CONAMA.

**Dobson S., van Esch G. (1993).** *Environmental health criteria 140: polychlorinated biphenyls and Terphenyls.* 2<sup>nd</sup> ed. Geneva, Switzerland.: World Health Organization – International Programme on Chemical Safety.

**España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - M-GRAMA (2004).** *Plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo y el Reglamento 850 de 2004, sobre contaminantes orgánicos persistentes.* Madrid, España.: Subdirección General de Calidad del Aire y Prevención de Riesgos.

**Fiedler H. (1998).** *Polychlorinated Biphenyls (PCBs): uses and environmental releases.* Augsburg, Germany.: Bavarian Institute for Waste Research - BlfA GmbH & United Nations Environmental Program – Chemicals.

**Illinois Department of Public Health – IDPH (2009).** *Environment Health, factsheets: polychlorinatedbiphenyls.* Recuperado el día 10 de agosto de 2014: <http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/polychlorinatedbiphenyls.htm>

**Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals – IOMC & United Nations Environmental Programme – UNEP (1999).** *Guidelines for the identification of PCBs and materials containing PCBs.* Geneve, Switzerland.: UNEP.

**Iwata, Tanabe, Sakai, & Tatsukawa (1993).** *Distribution of persistent organochlorine pollutants in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate.* Environ. Sci. Technol. 27, 1080-1098.: Iwata, Tanabe, Sakai, & Tatsukawa.

**LaGreca M., & Buckingham P., & Evans J. (1996).** *Hazardous waste management.* London, United Kingdom.: McGraw- Hill.

**Martínez-Alier J. & O’Connor M. (1996).** *Ecological and economic distribution conflicts.* En: Constanza R., Segura O. & Martínez Alier J. (ed). Getting down to earth: practical application of ecological economics. Washington D.C., EE.UU.: Island Press.

**Monsanto (1995).** *Material Safety Data Polychlorinated Biphenyls (PCBs).* Sant Louis, EE.UU.: Monsanto Company.

**Neumeier G. (1998).** *The technical life cycle of PCB’s.* Kranjska Gora, Slovenia.: Workshop on Persistent Organic Pollutants.

**New Jersey Department of Health –NJHealth (2014).** *Derecho a Saber, hoja informativa sobre sustancias peligrosas: PCB.* New Jersey, EE.UU.: New Jersey Department of Health.

**Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA – Secretaría del Convenio de Estocolmo. (2001).** *Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes – COP. Enmendado en 2009.* Estocolmo, Suecia.

**Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA & Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals – IOMC. (2002).** *Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación.* Geneve, Switzerland.: PNUMA & IOCM.

Russi D., & Martínez-Alier J. (2002). *Los pasivos ambientales*. En: Revista de Ciencias Sociales. Quito, Ecuador.: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales - FLACSO.

U.S. Environmental Protection Agency – EPA (1993). *PCBs Fluorescent Light Fixtures*. Air and Toxic Division Region 10. Citado en UNEP, 1999. Washington D.C., USA. Recuperado el día 10 de agosto de 2014: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/ballasts.htm>.: EPA.

U.S. Environmental Protection Agency – EPA (1998). *PCB transformers re-classification act*. En: Polychlorinated Biphenyls. Recuperado el día 10 de agosto de 2014: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/aro-clor.htm>.: EPA.

U.S. Environmental Protection Agency – EPA (2000). *Ley de Planificación de Emergencias y del Derecho a Saber de la Comunidad*. Spanish version. USA.: EPA.

U.S. Environmental Protection Agency – EPA (2013). *Aroclor and Other PCB Mixtures*. En: Polychlorinated Biphenyls, basic information. Recuperado el día 10 de agosto de 2014: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/aro-clor.htm>.EPA.

Valle E. & Cruz M. (1997). *Problemática de los bifenilos policlorados (PCB) en México*. En: Boletín IIE, septiembre – octubre de 1997. México D.F., México.: Instituto de Investigaciones Eléctricas – Secretaría de Energía.

Vallejo M & Baena C. (2007). *Toxicología Ambiental*. Bogotá, Colombia.: Grupo Empresarial Wills Ltda.

World Health Organization – WHO (2014). *Las dioxinas y sus efectos en la salud*. En: nota descriptiva No. 225, mayo de 2014. Recuperado el día 17 de agosto de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>





