



Estudio de caso 2: Situación de la gestión de los PCB Estado de las tecnologías de descontaminación y destrucción sin incineración

3

Financiado



«El Fondo Social Europeo contribuye al desarrollo del empleo, impulsando la empleabilidad, el espíritu de empresa, la adaptabilidad, la igualdad de oportunidades y la inversión en recursos humanos».



Fundación Biodiversidad

«Acciones cofinanciadas por el Fondo Social Europeo y la Fundación Biodiversidad en el marco del Programa Operativo "Iniciativa Empresarial y Formación Continua" (2000-2006) objetivos 1 y 3».

Elaborado



«ACCIONES GRATUITAS dirigidas a trabajadores activos de PYMES y profesionales autónomos relacionados con el sector medioambiental».



3

Estudio de caso 2: Situación de la gestión de los PCB

Estado de las tecnologías de descontaminación y destrucción sin incineración

Autor: Miquel Crespo i Ramírez, con la colaboración de Ignacio Olano Goena y Eva Hernández Jorgez.

Edita: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.
ISTAS es una fundación de CC.OO. que promueve la salud laboral, la mejora de las condiciones laborales y la protección del medio ambiente de y entre los trabajadores del Estado español.

Financian: Fundación Biodiversidad
Fondo Social Europeo

Diseño y realización: Paralelo Edición, S.A.

Depósito Legal: M-13000-2005

Impreso en papel FSC

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
1. PANORAMA GENERAL	7
1.1. Introducción	7
1.2. Los riesgos asociados a los PCB	8
1.2.1. Identificación y caracterización	8
1.2.2. Efectos sobre la salud y el medio ambiente	9
1.3. Aspectos legales	14
2. REVISIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN SIN INCINERACIÓN	16
2.1. Introducción	16
2.2. Revisión de las tecnologías	20
2.3. La situación en España	27
3. INICIATIVAS DESARROLLADAS	29
4. BIBLIOGRAFÍA	32

PRESENTACIÓN

La Comisión Europea reconoce la urgencia de abordar el problema de los riesgos derivados del uso y exposición a los disruptores endocrinos y la falta de información suficiente para ello, por lo que está realizando una ambiciosa campaña de investigación y documentación. Entre tanto, se recomienda la aplicación del Principio de Precaución.

Los **disruptores endocrinos** son sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal y ocasionar diferentes daños sobre la salud de las mujeres y hombres expuestos así como también en sus hijas e hijos. **Los efectos más preocupantes ocurren en hijas e hijos de madres expuestas durante el embarazo y la lactancia.** También afectan a la reproducción y la salud de otras especies animales debido a la contaminación ambiental. Sus efectos se producen a dosis muy bajas, en general muy por debajo de los límites de exposición legalmente establecidos.

Los **bifenilos policlorados (PCB)** son uno de los grupos principales de sustancias que producen estos efectos. Tienen una regulación legal específica y, a pesar de estar prohibidos, se pueden encontrar en los lugares de trabajo. Por ello creemos conveniente elaborar y difundir la información y formación básica que permita orientar a los/as técnicos de las empresas y de las Administraciones, así como a representantes y responsables sindicales en la eliminación de estas sustancias, defendiendo de esta forma la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

Así mismo estos compuestos forman parte de la denominada «**docena sucia**» que incluye desde pesticidas como el DDT a productos liberados en procesos térmicos como las dioxinas y los furanos, **todos ellos Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) y recogidos en el Convenio de Estocolmo para la Eliminación de Compuestos Orgánicos Persistentes.** Este convenio es un mandato del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**) para proteger la salud humana y la integridad de los ecosistemas frente a esta amenaza, que ha sido ratificado por España y que se encuentra en vigor desde el 17 de mayo.

La Confederación Sindical de CC.OO. resulta, en sus ámbitos de trabajo, un agente activo y afectado por los problemas medioambientales y de salud pública que pueden generar la gestión incorrecta o no ajustada a los criterios del Convenio de Estocolmo y las estrategias y normativas comunitarias de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), así como de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Por ello, está interesado en la búsqueda de aquellas posibles iniciativas y alternativas que faciliten e impulsen una adecuada gestión medioambiental de estos compuestos tóxicos.

1. PANORAMA GENERAL

1.1. Introducción

Los bifenilos policlorados (PCB) son una clase de hidrocarburos clorados que desde 1930 se utilizan con frecuencia para diversos usos industriales. Contienen dos anillos de benzeno unidos por un enlace carbono-carbono, con átomos de cloro sustituidos en algunos de los diez átomos de carbono restantes o en todos ellos. Entre los PCB figuran líquidos oleosos fluidos y resinas transparentes duras, dependiendo del grado de sustitución.

El valor de los PCB surge de su inercia química, termorresistencia, no inflamabilidad, baja presión de vapor y elevada constante dieléctrica. A medida que se ha ido generalizando el uso de la electricidad durante la primera mitad del pasado siglo, los suministradores de equipos han llegado a ser importantes usuarios de PCB. Las aplicaciones principales son como refrigerantes en transformadores y como dieléctricos en capacitores.

Los usos de los PCB se pueden clasificar como cerrados o abiertos. Con las **aplicaciones cerradas** se trataba de evitar toda pérdida de PCB conteniéndolo dentro de una unidad sellada. En este tipo de aplicaciones la contaminación del medio ambiente es consecuencia de fugas del equipo, resultantes, por ejemplo, de un incendio. En las **aplicaciones abiertas** los PCB quedan expuestos al medio ambiente y es inevitable que se produzcan algunas pérdidas. Las principales aplicaciones cerradas son como refrigerantes en transformadores y como dieléctricos en capacitores. Además, los PCB entran en la formulación de muy diversos productos como lubricantes, lubricantes para cuchillas, composiciones obturadoras (para la industria de la construcción), adhesivos, plásticos y cauchos, e insecticidas, así como en pinturas, barnices y otros recubrimientos de superficie, incluido el papel de copia sin carbón.

Muchas de las características que hacen que los PCB sean ideales para ciertas aplicaciones industriales dan origen a problemas cuando se liberan al medio ambiente. Los efectos sobre el ser humano y el medio ambiente son ante todo consecuencia de la exposición crónica. Al igual que otros muchos hidrocarburos clorados, los PCB se asocian con los componentes orgánicos de suelos, sedimentos y tejidos biológicos, o con el carbono orgánico disuelto en sistemas acuáticos. Sus propiedades químicas favorecen el transporte a largas distancias y se han detectado en la atmósfera, el agua y organismos árticos.

Cada vez hay más pruebas de que los PCB y otros hidrocarburos halogenados aromáticos persistentes tienen efectos inmunotóxicos y sobre la función reproductora de los animales silvestres. Se han observado efectos sobre el hígado, la piel, el sistema inmunario, el sistema reproductor, el tracto gastrointestinal y la glándula tiroides de ratas de laboratorio y el Agency for Research on Cancer (IARC) los ha clasificado como probables carcinógenos para el ser humano (grupo 2A).

Los PCB se incorporan a nuestro organismo por diferentes vías: inhalación, ingestión o por contacto directo a través de la piel. La existencia de cantidades a nivel de traza presentes en el organismo de las personas se debe a la incorporación de estos compuestos a través de la cadena alimentaria, almacenándose en los tejidos grasos.

1.2. Los riesgos asociados a los PCB

1.2.1. Identificación y caracterización

Nº CAS: 1336-36-3		Nº CE: 215-648-1	Nº 602-039-00-4
NOMBRE: BIFENILOS POLICLORADOS			OTROS: PCB
CLASIFICACIÓN		R33	N: R50-53
Clasificación IARC: 2A probable cancerígeno humano			
ETIQUETADO	FRASES R	33-50/53	
	FRASES S	(2-)35-60-61	
	SÍMBOLOS	Xn,N	
LÍMITES DE CONCENTRACIÓN		C>=0,005%	Xn: R33

Los bifenilos policlorados, conocidos como PCB, son un grupo de 209 sustancias sintéticas cloradas, de elevada toxicidad para el medio ambiente y la salud, que a pesar de estar prohibidas se pueden encontrar en nuestros lugares de trabajo. La normativa española también considera PCB los terfenilos policlorados (PCT) y las siguientes sustancias:

- Policlorobifenilos nº Cas: 1336-36-3.
- Policloroterfenilos nº Cas: 61788-33-8.
- Monometiltetraclorodifenilmetano.
- Monometildiclorodifenilmetano.
- Monometildibromodifenilmetano.
- Cualquier mezcla cuyo contenido total de las sustancias anteriores sea superior a 0,005% en peso (50 ppm).

Los PCB han sido aprovechados en numerosos usos industriales a lo largo del siglo XX, empleándose como fluidos aislantes de transformadores y condensadores, plastificantes y fluidos hidráulicos. Los PCB también se generan como subproductos en varios procesos industriales y durante la incineración de residuos (1).

Hasta su prohibición en España en 1986, los PCB se comercializaban en mezclas de hasta 50 PCB diferentes, con diferentes denominaciones (tabla 1), siendo el ASKAREL el más conocido (2).

En la actualidad está prohibida su fabricación y comercialización por sus graves riesgos sobre el medio ambiente y la salud, y sus usos han sido muy restringidos, permitiéndose sólo la utilización de transformadores y condensadores con PCB hasta el final de su vida útil.

A pesar de estas regulaciones, **grandes cantidades de PCB y materiales y residuos contaminados con PCB, sobre todo transformadores y condensadores, se encuentran aún en muchos lugares de trabajo, generando un grave riesgo para la salud de los trabajadores y trabajadoras y el medio ambiente.** En el año 2001 se estimaba que existían 210.000 toneladas de PCB y aparatos contaminados con PCB repartidos por el Estado español (3).

El uso principal de los PCB ha sido como fluido dieléctrico de transformadores y condensadores. Muchos de estos aparatos (el Plan Nacional estima que 141.000 toneladas) (3) se encuentran aún presentes en las empresas, ya sea almacenados o incluso en uso. Es en estas aplicaciones donde mayores cantidades de PCB encontraremos en los lugares de trabajo, pero no debemos descartar la presencia de PCB en otros aparatos

TABLA 1. NOMBRES COMERCIALES Y SINÓNIMOS DE MEZCLAS DE PCB

Aceclor (t)	Chlorinol (EEUU)	Hivar (c)	Phenoclor (t, c) (Francia)
Adkarel	Chlorobiphenyl	Hydol (t, c)	Phenochlor
ALC	Clophen (t, c) (Alemania)	Hydrol	Phenochlor DP6
Apirolio (t, c)	Clophen-A30	Hylvol	Plastivar
Aroclor (t, c) (EEUU)	Clophen-A50	Inclor	Pydraul (EEUU)
Aroclor 1016 (t, c)	Clophen-A60	Inerteen (t, c)	Pyralene (t, c) (Francia)
Aroclor 1221 (t, c)	Clophen Aporolio	Kanechlor (KC) (t, c)	Pyranol (t, c) (EEUU)
Aroclor 1232 (t, c)	Cloresil	(Japan)	Pyrochlor
Aroclor 1242 (t, c)	Clorphen (t)	Kaneclor	Pyroclor (t) (EEUU)
Aroclor 1254 (t, c)	Delor (República Checa)	Kaneclor 400	Saf-T-Kuhl (t, c)
Aroclor 1260 (t, c)	Diaclor (t, c)	Kaneclor 500	Saft-Kuhl
Aroclor 1262 (t, c)	Dialor (c)	Keneclor	Santotherm (Japón)
Aroclor 1268 (t, c)	Disconon (c)	Kennechlor	Santotherm FR
Areclor (t)	Dk (t, c)	Leromoll	Santoterm
Abestol (t, c)	Ducanol	Magvar	Santovac
Arubren	Duconol (c)	MCS 1489	Santovac 1
Asbestol (t, c)	Dykanol (t, c) (EEUU)	Montar	Santovac2
ASK	Dyknol	Nepolin	Siclonyl (c)
Askarel ^a (t, c) (EEUU)	EEC-18	Niren	Solvol (t, c) (Federación Rusa)
Bakola	Electrophenyl T-60	No-Famol	Rusa)
Bakola 131 (t, c)	Elemex (t, c)	No-Flamol (t, c) (EEUU)	Sovol
Biclор (c)	Eucarel	No-Flamol	Sovtol (Federación Rusa)
Chlorextol (t)	Fenchlor (t, c) (Italia)	Nonflammable liquid	Therminol (EEUU)
Chlorinated Diphenyl	Hexol (Federación Rusa)	Pheneclor	Therminol FR

t= transformador, c= condensador, ^aAskarel es el nombre genérico utilizado para designar los aceites aislantes de transformadores y condensadores.

Fuente: ICF Kaiser, INC. (1999) Guidelines for the Identification of PCB and Materials Containing PCB. UNEP Chemicals, Geneva.

o residuos a pesar de estar prohibido su uso. Las tablas 2 y 3 recogen los principales usos que han tenido los PCB.

Además, podemos encontrar muchos materiales contaminados con PCB, ya sea accidentalmente durante la manipulación, almacenamiento, transporte o gestión de aparatos que los contienen, por la generación de PCB como subproducto en procesos industriales o durante la incineración de residuos, etc.

1.2.2. Efectos sobre la salud y el medio ambiente

Los PCB son uno de los grupos de contaminantes cuyos efectos sobre la salud y el medio ambiente han sido estudiados con mayor profundidad.

Las propiedades físico-químicas de los PCB, tan útiles para la industria, han tenido, sin embargo, consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud:

- Su elevada estabilidad química hace difícil su degradación por parte de los seres vivos, siendo muy persistentes y tóxicos.

TABLA 2. USOS QUE HAN TENIDO LOS PCB

Aplicaciones cerradas:	Transformadores eléctricos*, condensadores eléctricos, motores eléctricos, electroimanes.
Aplicaciones parcialmente cerradas:	Fluidos refrigerantes, fluidos hidráulicos, bombas de vacío, interruptores ^a , reguladores de voltaje ^a , cables eléctricos con relleno líquido ^a , interruptores automáticos con relleno líquido ^a .
Aplicaciones abiertas:	<ul style="list-style-type: none"> – Lubricantes: Aceites de inmersión para microscopios, cubiertas de frenos, taladrinas, aceites lubricantes. – Ceras y aditivos de fundición – Recubrimiento de superficies: Pinturas, tratamientos de tejidos, papel autocopiativo, retardadores de llama, regulador de polvo. – Adhesivos: Adhesivos especiales, adhesivos para paredes impermeables. – Plastificantes: Selladores empaquetación, selladores para juntas de hormigón, PVC, selladores de goma. – Tintas: Tintes, tintas de impresión. – Otros usos: Materiales aislantes, plaguicidas^b.
Actividades que generan residuos con PCB:	Aceites usados, lodos de drenado, reparación y mantenimiento de equipos y materiales que contienen PCB, demolición, vertederos, plantas de reciclaje, incineración de residuos, industria química.

* Se pueden seguir utilizando los que contengan menos de 500 ppm de PCB hasta el final de la vida útil del aceite.

^a Estas aplicaciones no fueron diseñadas para contener PCB, pero pueden haberse contaminado durante su funcionamiento y mantenimiento.

^b Fluidos de transformadores gastados han sido utilizados como ingredientes en fórmulas de plaguicidas.

Fuente: ICF Kaiser, INC. (1999) Guidelines for the Identification of PCB and Materials Containing PCB. UNEP Chemicals, Geneva.

- No se disuelven en agua, aunque sí en grasas, por lo que se acumulan en las grasas de animales y personas expuestas.
- Su facilidad para volatilizarse hace que se dispersen rápidamente al medio ambiente.

Propiedades Toxicológicas

Los PCB se caracterizan por su capacidad de acumulación en los tejidos humanos y animales, lo que les confiere una toxicidad crónica significativa. Asimismo su capacidad de acumulación y persistencia como contaminante medioambiental los convierte en una fuente permanente de riesgo para la salud humana.

Se absorben por la vía respiratoria, la piel y la vía digestiva. Pueden atravesar la placenta y son excretados por la leche materna. En las exposiciones crónicas la vía principal de penetración es la piel. En las exposiciones accidentales, por derrames, fugas o incendios, la vía de entrada más importante es la respiratoria.

Al tratarse de una sustancia prohibida, lo habitual en la actualidad es que los encontremos como componente de aplicaciones en circuitos cerrados, incluidos en aparatos almacenados o en uso, que deben ser retirados o descontaminados antes del 2010, en cumplimiento de la normativa que ya se ha comentado.

TABLA 3. USOS QUE HAN TENIDO LOS PCB POR SECTORES

SECTORES	USOS
Eléctrico (incluyendo distribución)	Transformadores, grandes condensadores, condensadores pequeños, interruptores, reguladores de voltaje, cables rellenos de líquido, interruptores de circuito, electroimanes.
Instalaciones industriales – Metal: aluminio, cobre, hierro, acero. – Cemento. – Química. – Plásticos. – Refinerías de petróleo.	Transformadores, grandes condensadores, condensadores pequeños, fluidos refrigerantes, fluidos hidráulicos (equipos), reguladores de voltaje, interruptores de circuito, electroimanes.
Ferrocarril	Transformadores, grandes condensadores, reguladores de voltaje, electroimanes.
Operaciones mineras subterráneas	Transformadores, condensadores, fluidos hidráulicos (equipos), tomas de tierra.
Instalaciones militares	Transformadores, grandes condensadores, condensadores pequeños, interruptores de circuito, reguladores de voltaje, fluidos hidráulicos (equipos).
Edificios comerciales y residenciales (incluyendo hospitales, escuelas, residencias, oficinas y comercios)	Pequeños condensadores (en lavadoras, secadores de pelo, tubos fluorescentes, lavavajillas, generadores, etc.), interruptores de circuito, electroimanes.
Laboratorios de investigación	Bombas de vacío, balastos de lámparas fluorescentes, pequeños condensadores, interruptores de circuito.
Fabricación de componentes electrónicos	Bombas de vacío, electroimanes, pequeños condensadores, interruptores de circuito.
Plantas depuradoras de aguas residuales	Bombas de vacío, motores de pozos.
Talleres de reparación y mantenimiento de automóviles	Aceites usados.
Vertederos y plantas de gestión de residuos (tanto de residuos urbanos como industriales y chatarrerías)	Residuos, escombros, chatarras, vertidos.

Fuente: ICF Kaiser, INC. (1999) Guidelines for the Identification of PCB and Materials Containing PCB. UNEP Chemicals, Geneva.

La fuente de exposición más importante para la población general será la vía alimentaria.

La exposición laboral más importante va a provenir de las tareas de mantenimiento, descontaminación y los accidentes por roturas de circuitos o incendios. Ello implica que deberán estar definidas las normas de seguridad a observar y los medios de protección a utilizar para estas situaciones.

Efectos sobre el medio ambiente

Los PCB son contaminantes globales que se pueden encontrar en las zonas más remotas del planeta, incluyendo los casquetes polares, las simas oceánicas o los lagos pirenaicos (4). Esta amplia dispersión se ha debido a sus características físico-químicas y a la irresponsable utilización de estos compuestos y gestión de sus residuos que, lamentablemente, aún se produce.

¹ El Real Decreto 1378/99, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan, traspone la Directiva 96/59 a la legislación española.

Se estima que la producción mundial total de PCB ha sido de 1,2 millones de toneladas, de las cuales un 30%, esto es, 400.000 toneladas ya se han dispersado en el medio ambiente, principalmente ligado a sedimentos y en aguas marinas. Aunque los PCB ya no se fabrican, se siguen dispersando desde los lugares donde se continúan utilizando, almacenando o tratando (1).

Las propiedades físico-químicas de los PCB, tan útiles para la industria, han tenido, sin embargo, consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud. Así, su elevada estabilidad química hace difícil su degradación por parte de los seres vivos, siendo muy persistentes y tóxicos. Los PCB no se disuelven en agua, aunque sí en grasas, por lo que se acumulan en las grasas de animales y personas expuestas. Por otra parte, su facilidad para volatilizarse hace que se dispersen rápidamente al medio ambiente.

Los animales mamíferos de la cima de las cadenas alimentarias, como osos polares, delfines o focas, acumulan las mayores concentraciones de estos contaminantes, llegando a presentar en sus organismos concentraciones de PCB miles de veces superiores a las concentraciones ambientales.

Se ha demostrado que los PCB son cancerígenos para los animales, además afectan a su sistema inmunológico, reproductor, endocrino y nervioso. Los PCB están relacionados con mortandades masivas de delfines en el Mediterráneo en los años 90 y de focas en el Mar de Norte en el año 1988. La pérdida de fertilidad de los osos polares también está relacionado con la contaminación con PCB (5).

EFFECTOS DE LOS PCB SOBRE EL MEDIO AMBIENTE
Elevada persistencia.
Bioacumulación.
Dispersión global.
Elevada toxicidad: cancerígenos para animales, efectos sobre sistema inmunológico, reproductor, nervioso y endocrino.

Debido a la gran dispersión de estos contaminantes, la principal vía de exposición de la población europea es a través de los alimentos, sobre todo los de origen animal, que constituyen el 80% de la exposición humana a dioxinas.

La exposición a estos contaminantes es prácticamente universal, encontrándose PCB en la leche materna humana y hasta en los tejidos adiposos, cerebro e hígado de niños pequeños (6). Entre el 80 y el 100% de la población española tiene PCB, junto a otros compuestos orgánicos persistentes, en sus organismos (7).

Por todo ello, los PCB han sido una de las 12 primeras sustancias que se han decidido eliminar globalmente con el Convenio de Estocolmo, auspiciado por las Naciones Unidas. Los países ribereños del nordeste del océano Atlántico, incluida la Unión Europea, han acordado ya eliminarlos antes del año 2010.

El Real Decreto 1378/1999¹ establece la obligación de eliminar o descontaminar los PCB y aparatos que los contienen antes del final de 2010.

Efectos sobre la salud humana

Se ha demostrado que los PCB ocasionan una gran diversidad de efectos muy graves sobre la salud humana. Los PCB se caracterizan como probables cancerígenos para los seres humanos. Además dañan el sistema inmunológico, la reproducción, el desarro-

llo, el sistema neurológico y el hígado. Los PCB son disruptores endocrinos afectando el mecanismo de actuación de las hormonas tiroideas, estrógenos y andrógenos, y por tanto, al sistema reproductivo (8, 9, 10, 11). Los PCB se transfieren a los hijos a través de la placenta y de la leche materna, ocasionando daños a la descendencia (12, 13).

El Comité Científico de la Alimentación Humana (CCAH) de la Unión Europea ha establecido una ingesta semanal tolerable de los PCB similares a las dioxinas en 14 picogramos (pg), de equivalente tóxico, por kg de peso corporal, en consonancia con la ingesta mensual tolerable de 70 pg/kg de peso corporal establecida por el Comité de Expertos de la FAO. Sin embargo, este comité señala que una proporción considerable de la población europea está sobrepasando estas cantidades, ya que la ingesta humana media en los países europeos se estimaba en 1,2 a 3,0 pg/kg² de peso corporal/día³.

² Picogramo (pg): la billonésima parte de un gramo (1 pg= 0.000000000001 gr).

³ COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS; COM (2001) 495 final. Propuesta de Reglamento del Consejo que modifica el Reglamento (CE) n° 466/2001 de la Comisión, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. Bruselas, 28-08-2001.

TABLA 4. EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA DE LOS PCB

Cáncer	Probable cancerígeno (IARC 2A).
Sistema reproductor	Ciclos menstruales irregulares, abortos, deformaciones y reducción del número de espermatozoides.
Sistema inmunológico	Reducción del sistema inmunológico.
Sistema nervioso	Dolor de cabeza, mareos, náuseas, depresiones, trastornos de sueño y memoria, nerviosismo, fatiga, impotencia.
Sistema endocrino	Modificación de niveles de hormonas tiroideas. Antiestrógenos y antiandrógenos.
Descendencia	Bajo peso de nacimiento, reducción sistema inmunológico, problemas de desarrollo, retraso en habilidades motoras, dificultades de aprendizaje, retraso en desarrollo de memoria.
Otros	Daños a hígado, cloracné, hiperpigmentación de piel y uñas, conjuntivitis, descenso del número de células rojas y hemoglobina.

Fuentes: ver Bibliografía.

Efectos de PCB sobre trabajadores expuestos

Se han realizado estudios epidemiológicos sobre trabajadores de fábricas de transformadores y condensadores y sobre trabajadores del sector eléctrico y de incineradoras de residuos urbanos expuestos a PCB (14, 15, 16). Los resultados de esos estudios han mostrado un incremento en la incidencia de cáncer cerebral, hepático, de conductos biliares y melanomas en los trabajadores expuestos, además de un incremento de la mortalidad por melanomas malignos.

El cuadro siguiente incluye algunos de los efectos investigados en trabajadores expuestos a PCB.

Presencia de niveles elevados de PCB en sangre y grasa.
Irritación de mucosas y piel, malestar, sensaciones alteradas.
Cloracné tras exposición a vapores.
Niveles elevados de PCB en hijos de mujeres expuestas.
Melanomas malignos.
Cáncer cerebral.
Cáncer hepático.
Cáncer conductos biliares.
Muertes por neoplasmas malignos.
<i>Fuentes: (7), (8) y (9).</i>

1.3. Aspectos legales

⁴ Excepto los transformadores con concentraciones de PCB inferiores a 500 ppm, y que estuviesen en servicio a 30 de junio de 1986, que podrán seguir en funcionamiento hasta el final de la vida útil de los PCB.

En España y el resto de países europeos, los PCB están estrictamente regulados, estando prohibida su producción, comercialización y uso⁴. Los poseedores de PCB y aparatos que los contienen están obligados a eliminarlos o descontaminarlos antes del 1 de enero de 2011. Además, están obligados a informar sobre estos aparatos a las CC.AA., a etiquetarlos y marcarlos, y a cumplir unas normas estrictas de almacenamiento y manipulación.

Varios convenios internacionales abordan la eliminación de los PCB a nivel regional y el Convenio de Estocolmo, firmado el 23 de mayo de 2001, incluye a los PCB como uno de los 12 primeros compuestos orgánicos persistentes a eliminar en todo el mundo.

Las principales regulaciones que afectan a los PCB en España:

- **Prohibición de la producción y comercialización de PCB.** Establecida por la Directiva 76/403 y la Directiva 76/769.
- **Prohibición total de la utilización de PCB.** Establecida por la Directiva 85/467.
- **Obligación de eliminar o descontaminar los PCB y aparatos que los contienen antes del final de 2010.** Establecida por el Real Decreto 1378/99 que traspone la Directiva 96/59, en cumplimiento del acuerdo adoptado por los países firmantes del Convenio PARCOM para la protección del medio ambiente marino del océano Atlántico Nordeste.
- **Planes Nacionales y Autonómicos de Descontaminación y Eliminación de PCB,** que establecen los objetivos, plazos, instrumentos y vías de seguimiento y control para eliminar los PCB antes del 1 de enero de 2011.

Según el Real Decreto 1378/1999, los poseedores de PCB y aparatos que los contienen están obligados a:

- **Eliminarlos o descontaminarlos antes del 1 de enero de 2011.** Deben entregar los PCB y aparatos que los contengan a un gestor autorizado para su eliminación o descontaminación antes del 1 de enero de 2011.
- **Informar sobre estos aparatos a las CC.AA.**
 - Deben justificar el contenido en PCB de los aparatos que posean según la norma UNE-EN 61619.
 - Aquellos que posean aparatos con un volumen de PCB superior a 1 dm³ deberán:

1. Declarar la posesión de los aparatos a las comunidades autónomas antes del 1 de septiembre de 2000.
 2. Comunicar las previsiones para descontaminarlos a las CC.AA.
- **Etiquetarlos y marcarlos, y cumplir unas normas estrictas de almacenamiento y manipulación.**
 - Deben etiquetar y marcar los aparatos y señalar los locales que los contienen.
 - Cumplir las condiciones de manipulación y almacenamiento establecidas por el real decreto: adoptar medidas de precaución para evitar riesgo de incendio, no manipular cerca de productos inflamables, explosivos, oxidantes, corrosivos o alimentarios, manipular y almacenar en zonas estancas, los envases deberán tener paredes dobles y estar etiquetados, etc.

Los poseedores de transformadores podrán seguir utilizando los aparatos que contengan menos de 500 ppm de PCB hasta el final de la vida útil de estas sustancias, siempre que los aparatos estuviesen en funcionamiento antes del 30 de junio de 1986.

El Real Decreto 1378/1999 establece que las comunidades autónomas deben realizar anualmente inventarios de PCB y aparatos que los contengan y a partir de ellos planes de eliminación y descontaminación.

Los inventarios deben actualizarse cada año y remitirse al MIMAM antes de 1 de marzo del año siguiente de su realización (artículo 6 del RD 1378/1999).

RD 1378/1999

Artículo 6. Inventarios.

1. A partir de los datos suministrados por los poseedores, las comunidades autónomas elaborarán anualmente inventarios de los aparatos relacionados en el artículo 4. Dichos inventarios incluirán, al menos, los datos que para cada caso figuran en los apartados 2, 3 y 4 del artículo 5.

2. Anualmente, y antes del 1 de marzo del año siguiente a su realización, las comunidades autónomas remitirán a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente un resumen actualizado de dicho inventario, desglosado por empresas o poseedores, a efectos de su comunicación a la Comisión Europea a través del cauce correspondiente.

El primer plan autonómico de eliminación y descontaminación de PCB debía entregarse al MIMAM antes del 31 de agosto de 2001.

Los planes deben revisarse cada cuatro años y remitirse a la Dirección General de Calidad Ambiental (artículo 14 RD 1378/1999).

RD 1378/1999

Artículo 14. Planes autonómicos de descontaminación y eliminación de PCB.

1. Las comunidades autónomas, a partir de las previsiones de descontaminación o eliminación que realicen los poseedores, elaborarán los planes autonómicos de descontaminación y eliminación, que contendrán la cuantificación de aparatos incluidos, la estimación de los costes de recogida, los objetivos anuales de descontaminación y

eliminación así como los lugares e instalaciones apropiadas. Los planes autonómicos se revisarán cada cuatro años.

2. Las Comunidades Autónomas, antes del 31 de agosto del año 2001, remitirán a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente sus respectivos planes autonómicos. Las revisiones de dichos planes autonómicos deberán remitirse asimismo al citado órgano directivo.

Tanto los inventarios de PCB como los planes de descontaminación y eliminación de las CC.AA. son públicos según la Ley 30/92 y la Ley 38/95, sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente. Los inventarios son una fuente importante de información para conocer la presencia de estas sustancias tóxicas en las CC.AA. y para hacer un seguimiento de la labor de las Administraciones para eliminarlos. Los inventarios deben incluir una relación de las empresas poseedores de PCB en las CC.AA. y la cantidad que cada una posee.

La Administración General del Estado debe elaborar un Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de PCB a partir de los inventarios y planes autonómicos. Este Plan Nacional establecerá los objetivos, medidas para alcanzarlos, financiación y procedimiento de revisión. Este plan debería ser revisado cada cuatro años.

PLAN NACIONAL DE DESCONTAMINACIÓN Y ELIMINACIÓN DE PCB

Objetivos:

- Aparatos con un volumen superior a 5 dm³: descontaminar o eliminar todos.
- Aparatos con un volumen comprendido entre 1 y 5 dm³: recoger y descontaminar todos, excepto los transformadores autorizados.
- Aparatos con un volumen inferior a 1 dm³: recogerlos en la medida de lo posible.

Costes: Serán asumidos por los poseedores de los PCB y aparatos que los contengan.

Financiación de campañas de concienciación ciudadana:

El artículo 3.2. del plan contempla la posibilidad de que las CC.AA. financien campañas de concienciación ciudadana tendentes a lograr los objetivos del plan.

Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y aparatos que los contengan (2001-2010). Artículo 3.2.

Por parte de las Administraciones Públicas y con cargo a los Planes Nacionales de Residuos Peligrosos (PNRP), se podrán cofinanciar aquellos programas de motivación pública y de concienciación ciudadana tendentes al logro de los objetivos ecológicos del plan. Las cuantías y modalidades de las ayudas se establecerán en el futuro II Plan Nacional de Residuos Peligrosos (2001-2006), en avanzado estado de elaboración.

2. REVISIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN SIN INCINERACIÓN

2.1. Introducción

Existe una corriente de opinión muy bien estructurada técnicamente y con gran predicamento ante las Administraciones medioambientales europeas y españolas que sustenta que la mejor opción para eliminar residuos es mediante tecnologías de incineración. En el caso de residuos especialmente problemáticos como son los compuestos tóxicos persistentes, entre los que se incluyen los PCB, de facto se considera que tan sólo la incineración permite su destrucción efectiva.

En la práctica, pues, en el entorno europeo la tecnología en uso para el tratamiento de los PCB es la incineración. Tal es así que el artículo 12 del RD 1378/1999 establece

que la eliminación de los PCB se realizará mediante incineración, si bien en el mismo artículo se acepta la posibilidad del uso de otros tratamientos.

Puesto que la referencia legal que regula la incineración de los PCB es el RD 653/2003 de incineración de residuos, la incineración de PCB puede realizarse en instalaciones específicas –incineradores–, o en instalaciones industriales no específicas –coincineración–.

Esto permite que también sea práctica normalizada la coincineración de PCB y materiales contaminados con PCB en hornos cementeros.

La incineración, sin embargo, no es un método seguro para eliminar compuestos orgánicos clorados como los PCB, ya que durante el proceso se forman dioxinas, furanos y otros compuestos de elevada toxicidad que se dispersan al medio ambiente a través de las emisiones a la atmósfera, cenizas, escorias y vertidos de aguas residuales. Las incineradoras son la principal fuente de emisión de dioxinas al medio ambiente. Estudios realizados en trabajadores de incineradoras muestran un incremento de mortalidad por cáncer de pulmón, de esófago y de estómago y una elevada mortalidad por isquemia coronaria (17).

⁵ Existe en la red un documento «REVIEW OF EMERGING, INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE DESTRUCTION AND DECONTAMINATION OF POPS AND THE IDENTIFICATION OF PROMISING TECHNOLOGIES FOR USE IN DEVELOPING COUNTRIES» (Ron McDowall; Carol Boyle; Bruce Graham. International Center for Sustainability Engineering and Science, The University of Auckland. Auckland New Zealand. 8/09/2003), que realiza una revisión en profundidad del estado de las tecnologías para el tratamiento sin incineración de COP, recogiendo buena parte de la información de la «Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración».

CONVENIO DE ESTOCOLMO

Artículo 6.

Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos

1. Con el fin de garantizar que las existencias que consistan en productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B, o que contengan esos productos químicos, así como los desechos, incluidos los productos y artículos cuando se conviertan en desechos, que consistan en un producto químico incluido en el anexo A, B o C o que contengan dicho producto químico o estén contaminadas con él, se gestionen de manera que se proteja la salud humana y el medio ambiente, cada parte:

...

b) Adoptará las medidas adecuadas para que esos desechos, incluidos los productos y artículos, cuando se conviertan en desechos:

- i) Se gestionen, recojan, transporten y almacenen de manera ambientalmente racional.
- ii) Se eliminen de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se eliminen en forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no represente la opción preferible desde el punto de vista del medio ambiente o su contenido de contaminante orgánico persistente sea bajo, teniendo en cuenta las reglas, normas y directrices internacionales, incluidas las que puedan elaborarse de acuerdo con el párrafo 2, y los regímenes mundiales y regionales pertinentes que rigen la gestión de los desechos peligrosos.

Ante esta situación contrapuesta y atendiendo a las disposiciones recogidas en el Convenio de Estocolmo para la destrucción de los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) (ver cuadro anterior), entre los que se incluyen los PCB, parece conveniente la revisión y presentación de tecnologías disponibles que sean alternativas comerciales a la incineración.

Dentro de este objetivo de búsqueda y difusión de tecnologías distintas a la incineración hemos encontrado dos referencias básicas de información⁵, además de la información servida por las empresas en Internet, que parecen alimentar la mayor parte de documentación disponible sobre tecnologías de tratamiento distintas a la incineración.

La referencia más importante, por su alcance, es la «Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración», prepara-

da por el Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos y editada por Naciones Unidas. La otra fuente, importante por su estructura divulgativa, es la colección de **Fichas Tecnológicas sobre Métodos para Eliminar la Contaminación** (en castellano), editada por la Environmental Protection Agency (EPA).

Basándonos en estas referencias, así como en una revisión bibliográfica y consultas a varias empresas gestoras en el mercado español, hemos elaborado una revisión de las principales opciones tecnológicas que son ya una alternativa a las tecnologías de incineración.

Las opciones aquí presentadas son tecnologías contrastadas y disponibles comercialmente para el tratamiento de PCB, si bien el listado de tecnologías, a nivel comercial o preoperacional, para el tratamiento sin incineración de suelos contaminados y COP resultaría mayor de lo aquí recogido.

Como referencia genérica reproducimos en las tres tablas siguientes un listado de empresas y la tecnología que comercializan, cuya fuente es la «Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración».

TABLA 5. TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB: ACEITES

Nombre de la compañía	Tecnología	Reutilización del aceite
ABB	No aplicable	-
AMEC GeoMelt	Vitrificación (pero los aceites deben estar absorbidos en un soporte)	No
Aprochim	Concentración por solvente + conversión a HCL	Sí
Bilger	Sodio	Sí
Cintec	No aplicable	-
Cleana way	Incineración	No
Eco Logic	Hidrogenación	No
Elf Atochem	Caso especial: combustión a HCL	No
Fluidex	Sodio	Sí
Grosvenor Power	Descloración	Sí
Manitoba Hydro	Sodio	Sí
S D Myers	Descloración	Sí
Ontario Power	Sodio	Sí
Orion	No aplicable	-
Papusha Rocket	Alta temperatura termoquímica	No
Petrochimteknologii	Plasma	No
Powertech	Sodio	Sí
Sanexen (DCR)	Sodio	Sí
Safety-Kleen	Sodio	Como combustible
Shanks	Incineración	No
Shinko Pantec	Sodio	Sí
TASSCO	Sodio	Sí
Tredi	Incineración	No

TABLA 6. TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB: TRANSFORMADORES

Nombre de la compañía	Tecnología	Reutilización del transformador	Recuperación del metal
ABB	Limpieza con solvente (también retroalimentado)	Sí	Sí
AMEC GeoMelt	Vitrificación	No	No
Aprochim	Limpieza con solvente seguida de combustión a HCL	No	Sí
Bilger	Reacción con sodio tras trituración	No	No
Cintec	Limpieza con solvente	No	Sí
Cleana way	Limpieza con solvente + incineración	No	Sí
Eco Logic	Hidrogenación a alta temperatura	No	Sí
Elf Atochem	No aplicable	-	-
Fluidex	Retroalimentación	Sí	No
Grosvenor Power	Retroalimentación	Sí	No
Manitoba Hydro	Retroalimentación	Sí	No
S D Myers	Lavado con solvente, también retroalimentación	No	Sí
Ontario Power	Lavado con solvente	No	Sí
Orion	Limpieza con solvente + incineración	No	Sí
Papusha Rocket	No aplicable	-	-
Petrochimteknologii	Por destrucción en plasma	No	Sí
Powertech	No aplicable	-	-
Sanexen (Decontaksolv)	Lavado con solvente	No	Sí
Safety-Kleen	Limpieza con solvente	No	Sí
Shanks	Incineración parcial con recuperación del metal	No	Sí
Shinko Pantec	Solvente	No	Sí
	Retroalimentación de limpieza	Sí	No
TASSCO	Retroalimentación	Sí	No
Tredi	Limpieza con solvente + incineración, también retroalimentado	Sí	No

TABLA 7. TECNOLOGÍA DE DESTRUCCIÓN DE PCB: CAPACITORES

Nombre de la compañía	Tecnología
ABB	Desmantelamiento, descontaminación
AMEC GeoMelt	Verificación después de despedazamiento
Aprochim	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Bilger	Trituración en pequeñas piezas, descloración con sodio
Cintec	Desmantelamiento, con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Cleana way	Despedazamiento, incineración
Eco Logic	Tratamiento a alta temperatura con H ₂
Elf Atochem	No aplicable
Fluidex	No aplicable
Grosvenor Power	No aplicable
Manitoba Hydro	No aplicable
S D Myers	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Ontario Power	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Orion	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Papusha Rocket	No aplicable
Petrochimteknologii	No aplicable
Powertech	No aplicable
Sanexen (DCR)	No aplicable
Safety-Kleen	Desmantelamiento, lavado con solvente
Shanks	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
Shinko Pantec	Demantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
TASSCO	No aplicable
Tredi	Incineración

2.2. Revisión de las tecnologías

Puesto que cuando hablamos de PCB en su fase como residuo en realidad estamos hablando, además del propio PCB, de aceites que contienen PCB, materiales y aparatos contaminados, parece más fácil, a efectos de comprensión de los procesos y tecnologías, presentar y describir los principales elementos y materiales que habrán de ser tratados junto a la tecnología de tratamiento planteada.

Transformadores

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

La caja externa es de hierro o de acero. Las partes activas del interior consisten en unas placas metálicas planas que actúan como magneto, rodeadas por las bobinas. Estas bobinas consisten en un alambre de cobre revestido de barniz. Además de estas piezas, el transformador habitual contiene unos puntales de madera que mantienen en su lugar las partes activas; esto se debe naturalmente a que la madera es neutra desde el punto de vista eléctrico. La totalidad del espacio libre se rellena con un aceite dieléctrico que es el que durante muchísimos años se ha basado en los PCB.

Capacitores

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

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

Tratamientos posibles

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

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

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

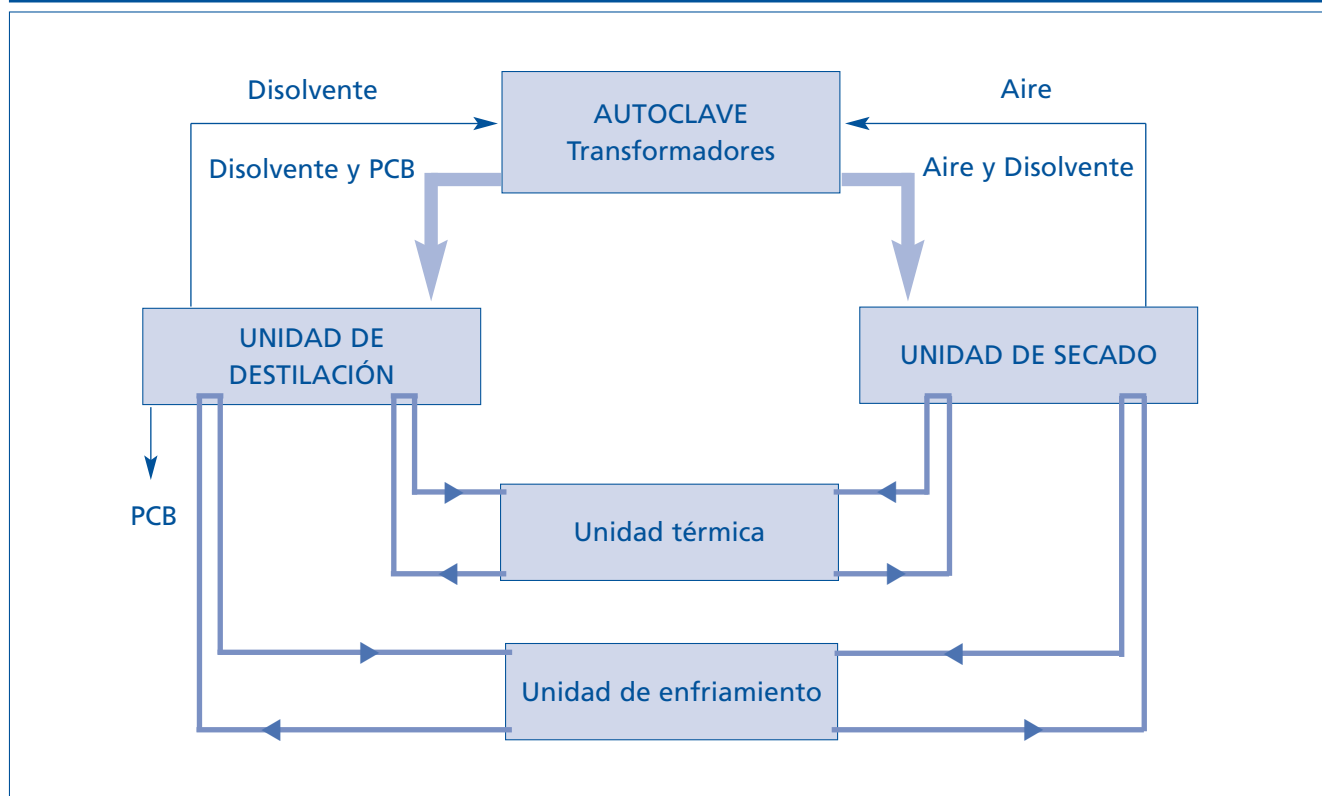
Pese a estos factores, la retroalimentación se utiliza en grandes transformadores o en los que son inaccesibles por diversas razones.

En este proceso de retroalimentación siempre quedará un aceite y un equipo contaminado con PCB, así como el PCB extraído para su posterior tratamiento.

La otra tecnología utilizada, más efectiva, consiste en el lavado de los transformadores con un disolvente o con detergente y posterior extracción por destilación del PCB.

En los dos métodos existe una primera fase de vaciado del aceite con PCB, así mismo se retiran los elementos no metálicos del transformador para ser tratados junto a los aceites (habitualmente mediante incineración).

FIGURA 1. LAVADO CON DISOLVENTE



En el lavado con disolvente (figura 1) todas las partes metálicas son introducidas en un autoclave en el que se circula el disolvente (normalmente percloroetileno) en fase líquida y fase vapor. Este proceso extrae el PCB de las partes metálicas, separándose posteriormente el PCB del disolvente mediante destilación.

En el lavado con detergente (figura 2), tras la extracción del dieléctrico, se hace circular el detergente por el transformador hasta su descontaminación. Posteriormente mediante destilación se separa el PCB del detergente.

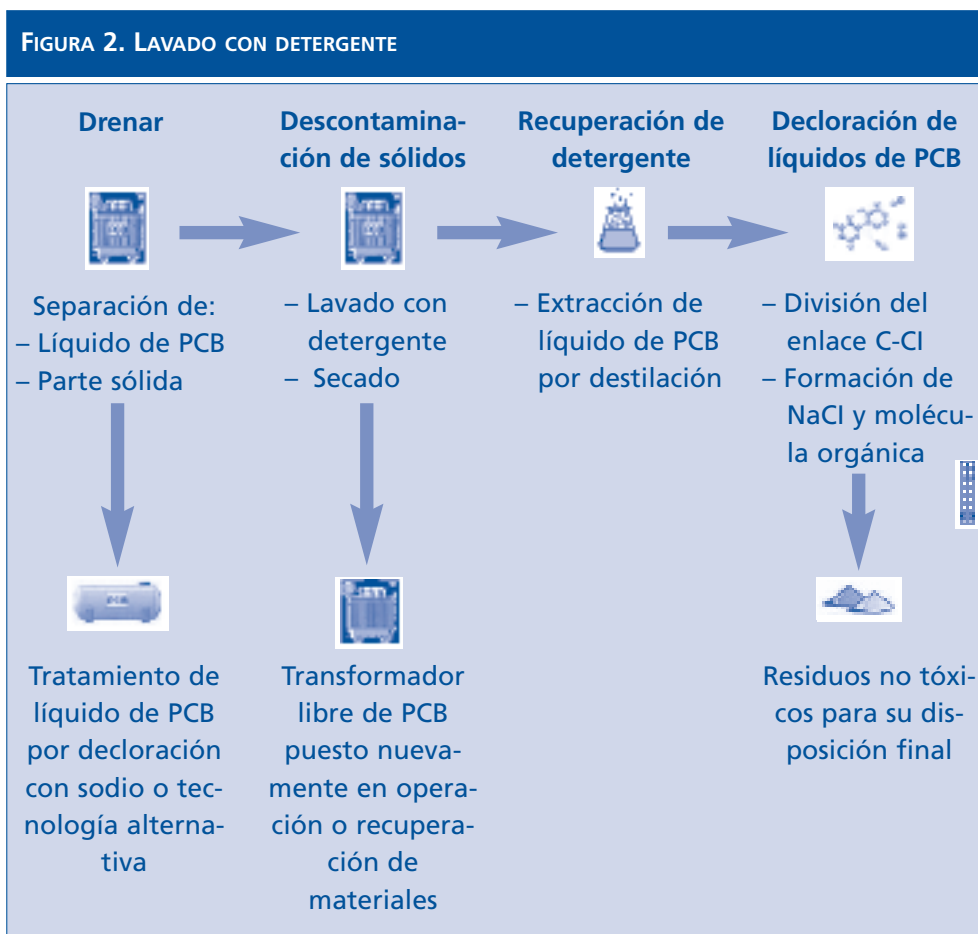
Aceites de transformador (PCB)

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

- Extracción de los átomos de cloro de las moléculas de PCB y reutilización del aceite («descloración»); o,
- Destrucción del aceite de PCB por oxidación térmica (incineración).

Aceites contaminados

Con cierta frecuencia la manipulación y mezclas de aceites, de forma accidental o intencionada, termina generando una contaminación de residuos de aceite con PCB, por lo que se genera la obligación de su tratamiento como tal.



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

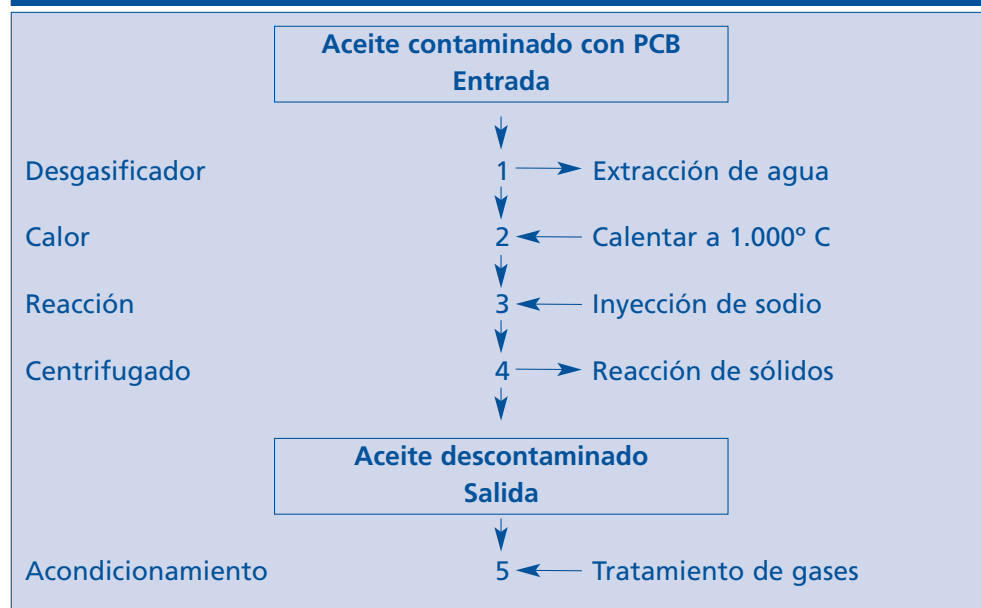
Tratamientos posibles

- Decloración con sodio

Es la tecnología más frecuente y se basa en el uso de sodio metálico para declorar las moléculas de PCB y generar un aceite que puede reutilizarse, sea en el transformador o de cualquier otra manera (figura 3). Esta tecnología tiene sobre la incineración la ventaja de que no sólo es menos costosa, sino que además permite recuperar y reutilizar el aceite.

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

La introducción de sodio metálico en un aceite de PCB provoca una reacción cuya velocidad depende de la interfaz metal-aceite. La velocidad de reacción entre el metal sólido y los aceites que contienen PCB depende de la amplitud de esta interfaz, de mane-

FIGURA 3. DECLORACIÓN CON SODIO


ra que cuanto más finas sean las partículas metálicas, más rápida será la reacción. Las dispersiones de sodio que actualmente se proponen son extraordinariamente finas y parecen emulsiones, de manera que poseen una elevada área de superficie metálica. La dispersión se utiliza a una temperatura superior al punto de fusión del sodio. Por ser líquida, la superficie metálica se puede renovar continuamente. De esta forma se puede alcanzar una velocidad de reacción razonable, lo que reduce el costo del proceso de descontaminación.

Puesto que el mayor coste asociado a esta tecnología parece ser el precio del reactivo (sodio metálico acondicionado para su uso en el proceso), según algunas fuentes la competitividad comercial del sistema es óptima para residuos con concentraciones inferiores a 6.000 ppm de PCB.

De forma sintética podemos describir así el proceso:

Los residuos son introducidos en un reactor donde se eleva la temperatura hasta los 120°, para generar una reacción química con el reactivo (sodio metálico), disperso en aceite, mediante la que se produce una donación del cloro del residuo, produciendo una reducción de la concentración de PCB hasta situarla <2 ppm.

La tecnología básica (figura 4), aún vigente, consiste en la mezcla de los materiales contaminados con el reactivo APEG (Poli Etilén Glicol Alcalino) y su calentamiento, a 150° C durante 4 horas, en una retorta. El compuesto policlorado reacciona con el APEG substituyendo los átomos de cloro por residuos de poli etilén glicol. Los átomos de cloro aparecen como ion cloruro. Los gases y vapores que se producen en el reactor se pasan a un condensador y los no condensables se pasan a un filtro de carbón activado antes de emitirlos a la atmósfera. El agua condensada se usa en el paso de lavado de la tierra tratada. La mezcla de tierra tratada y APEG se envían a un separador donde se recupera el APEG que no reaccionó y se recicla a la retorta. La tierra tratada se lava usando los condensados de la retorta, las aguas de lavado se tratan y se descartan. La tierra tratada se devuelve a su lugar de origen después de comprobar que la concentración de los tóxicos llegó al nivel deseado.

No resulta operativo su uso para tratar grandes cantidades de desechos, ni desechos con concentraciones de los contaminantes mayores al 5%.

FIGURA 4. DECLORACIÓN CON POLIETILENGLICOL-POTASA

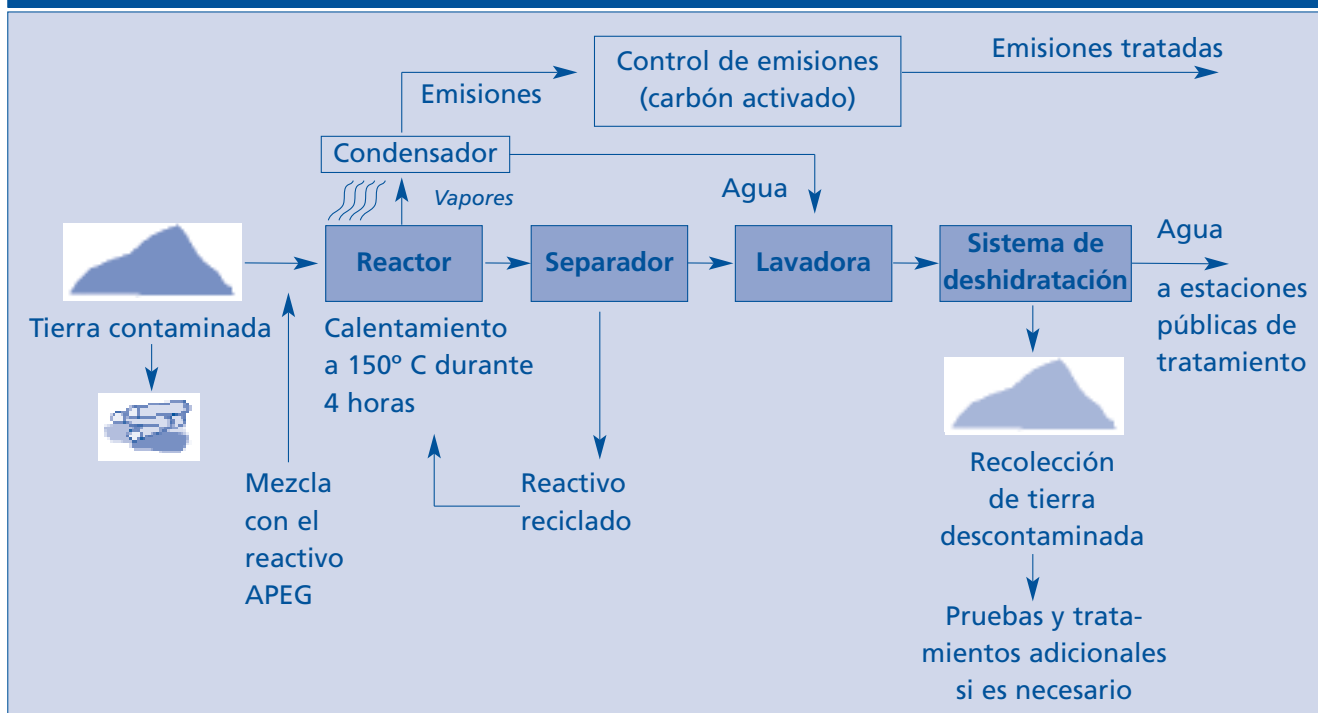
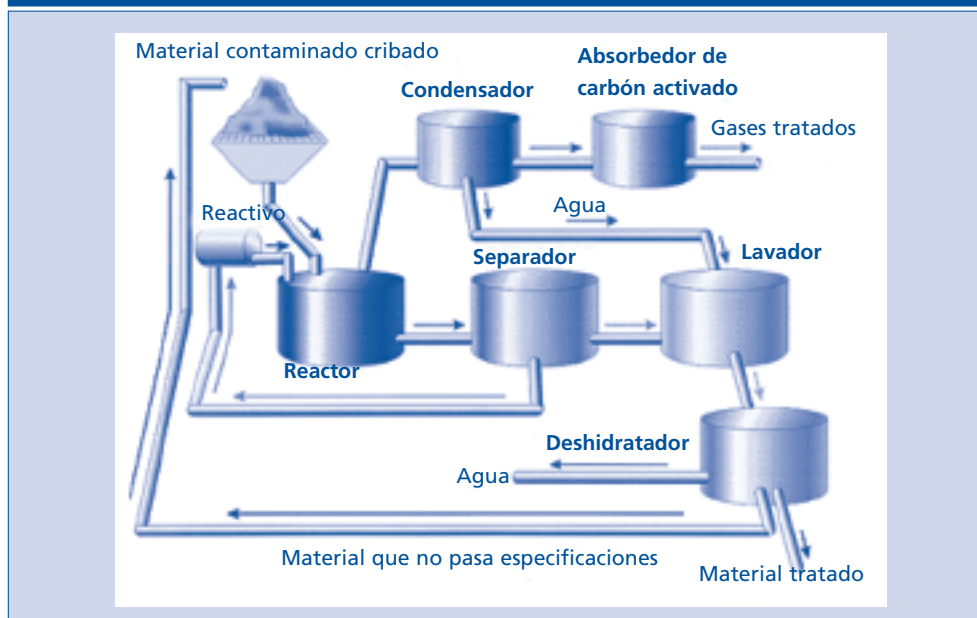


FIGURA 5. DECLORACIÓN CATALÍTICA POR BASES (BCD)



La descomposición catalizada por bases (BCD) (figura 5) toma como punto de partida la tecnología anterior (tratamiento con APEG), pero la mezcla de los residuos contaminados se puede realizar con bicarbonato de sodio o con hidróxido de sodio, en una relación de 5/1 y se calienta a 400° C. Los compuestos orgánicos se volatilizan, los materiales que salen del reactor se consideran descontaminados.

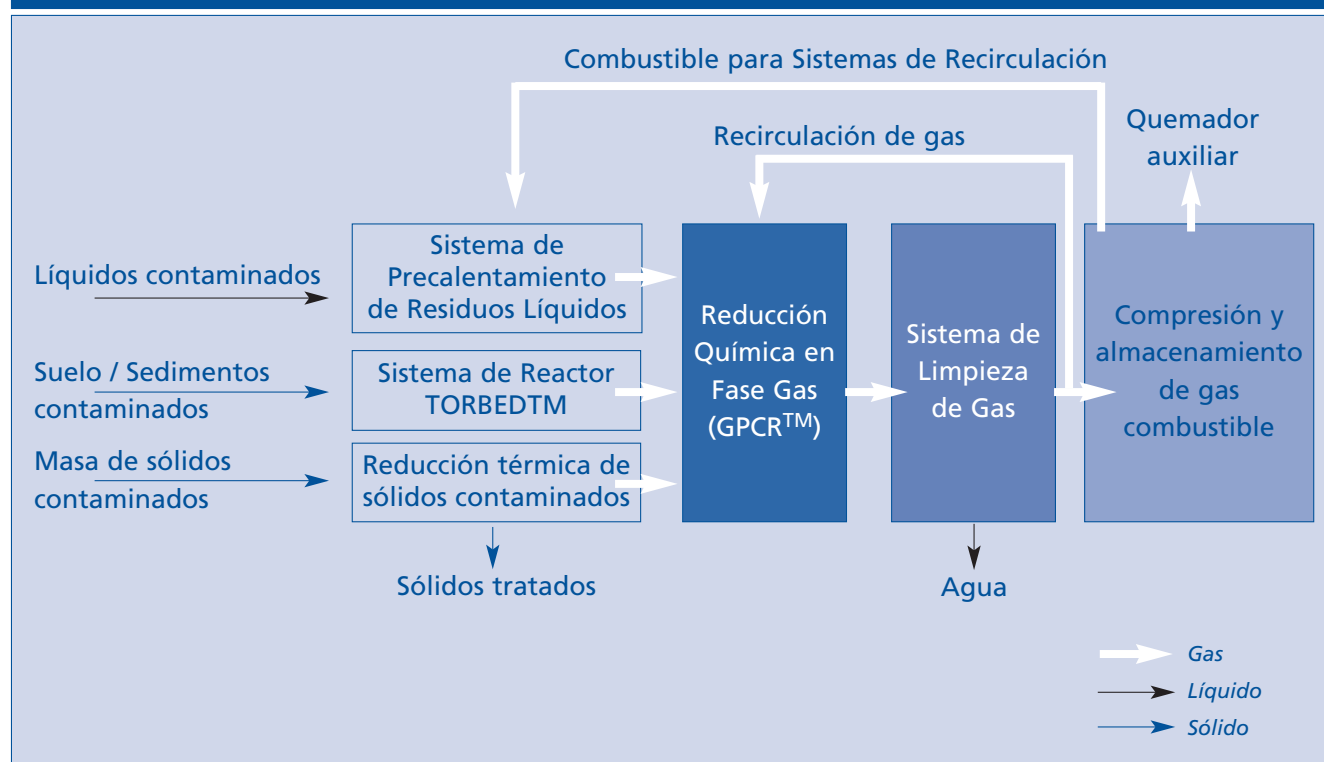
Para operar, los residuos son introducidos en el reactor, donde se eleva la temperatura hasta los 400°, para generar una reacción química con un álcali hidróxido (normalmen-

te OHNa) y un catalizador (normalmente naftalina sódica o polietilenglicol de sodio). Puesto que la fase gaseosa del residuo se alcanza rápidamente, no produciéndose la sustitución total del Cl por el H₂, se mantiene una recirculación de los gases (circuito de condensación) para un tratamiento final efectivo. Los efluentes finales que se describen son ClNa, residuos carbonosos y gases en los que se puede detectar ClH, CO₂, H₂.

Una adaptación de esta tecnología ha sido utilizada en un proyecto del IHOBE para la destrucción de residuos de lindano y suelos contaminados en Euskadi.

Es una técnica probada, aunque con unos costes energéticos a considerar. Parece una tecnología muy apta para PCB o residuos con concentraciones superiores a 6.000 ppm.

FIGURA 6: REDUCCIÓN QUÍMICA EN FASE GAS (GPCR)



La reducción química en fase gas (GPCR), conocida como sistema GPCR- Eco Logic por la empresa propietaria de la tecnología, es una de las tecnologías más novedosas para la destrucción de compuestos orgánicos persistentes. Se han desarrollado varias iniciativas y trabajos semicomerciales para el tratamiento de un amplio número de COP (PCB, dioxinas, plaguicidas, CFC) con buenos resultados. Es una de las opciones más difundidas entre entidades ecologistas de un buen número de países.

Una descripción sintética del proceso sería:

- **Adecuación de los residuos a tratar:** para los sólidos habría de realizarse una desorción para facilitar el pase a la fase gaseosa del contaminante. Para los líquidos y pastosos habría de efectuarse una atomización previa para ser introducidos en el reactor.
- **Disociación:** en una atmósfera de H₂ y con una temperatura de operación de 850° se produce la disociación de los gases, resultando un gas en el que se pueden encontrar (según ECO LOGIC) CO, CO₂, ClH, CH₄, H₂, H₂O + benceno y etileno.
- **Tratamiento de los gases:** los gases finales son tratados para su emisión final.

TABLA 8A. RESUMEN INFORMATIVO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE PCB SIN INCINERACIÓN

Tecnología	Empresas que la usan	Países donde ha sido usada	Capacidad de tratamiento	Rango de descontaminación	Generación de PCDD/PCDF
Decloración con sodio metálico	Powerthech Safety-Kleen Tassco ABB ENERVAC	Francia Alemania Reino Unido Australia Japón EEUU	± 15.000 l/día con concentraciones hasta 7.000 ppm	<2 ppm	NO detectados en las emisiones
Decloración con polietilenglicol-potasa	Sin referencias. Esta tecnología aparece citada en diversas fuentes bibliográficas. La EPA tiene varias publicaciones en las que resalta esta tecnología, para más información: National Center for Environmental Publications and Information (NCPI). Po Box 42419 Cincinnati, OH 45242.				
Decloración catalítica por bases (BCD)	BCD Group Inc.	Australia EEUU Nueva Zelanda España Japón	± 20 tn/h para sólidos contaminados	Sin información	NO detectados en las emisiones
Reducción química en fase gas (GPCR)	ELI Ecologic International	Australia EEUU Canadá Japón	± 100 tn/día condicionado al tipo de residuo a tratar y el sistema de pretratamiento incorporado	Sin información	NO detectados en las emisiones

TABLA 8B. RESUMEN INFORMATIVO DE TECNOLOGÍAS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE APARATOS CONTAMINADOS CON PCB

Tecnología	Empresas que la usan	Países donde ha sido usada	Capacidad de tratamiento	Rango de descontaminación	Generación de PCDD/PCDF
Lavado con disolventes y extracción por destilación	ENERVAC Safety-Kleen	Canadá EEUU Australia España	± 4.000 Kg/h para sólidos contaminados	<20 ppm	NO detectados en las emisiones
Lavado con detergentes y extracción por destilación	ABB	Canadá EEUU Australia España	± 4.000 Kg/h para sólidos contaminados	<20 ppm	NO detectados en las emisiones

2.3. La situación en España

El marco que regula la descontaminación y destrucción de los PCB es el **Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y Aparatos que los Contengan (2001-2010)**, que habría de encontrarse en pleno desarrollo dado que nos encontramos en el ecuador de su período de vigencia. La realidad por el contrario es bien diferente, puesto que las diferentes autoridades responsables se encuentran **revisando y ajustando la información disponible**, sin acciones que permitan pensar en el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Hasta el tercer trimestre de 2004, teniendo como referencia de información el Ministerio de Medio Ambiente, las conclusiones que se podían enunciar de la situación eran:

- En ninguno de los inventarios enviados por las CC.AA. figuran los aparatos que contienen aceites contaminados con PCB. Estos aparatos han de incluirse también en el Inventario Nacional.
- En ninguno de los inventarios enviados por las CC.AA. figuran los aparatos sospechosos de haber sido contaminados con PCB (aparatos desencubados, recargados, etc., a lo largo de su vida). Es necesario su identificación y cuantificación con el fin de poder detectar aquellos que realmente están contaminados, mediante los correspondientes análisis químicos, para destinarlos a su Descontaminación o Eliminación.
- En la mayoría de los inventarios enviados, con excepción de algunas CC.AA., no se relacionan o bien no se cuantifican aquellos aparatos efectivamente eliminados o descontaminados. Es necesaria su identificación y cuantificación con el fin de evaluar si se está siguiendo el ritmo previsto en el Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de PCB.
- De las 15 CC.AA. que han enviado inventario o datos cuantitativos, solamente Valencia y Madrid clasifican los aparatos agrupándolos según las características establecidas en el RD 1378/1999, distinguiendo entre aparatos con volumen de PCB mayor de 5 dm³ y aparatos con volumen entre 1 y 5 dm³.
- Asimismo, no hay pruebas de que las relaciones de aparatos con PCB enviadas por las CC.AA. incluyan a todos los aparatos existentes. La mayoría de los inventarios enviados en papel son incompletos.
- Se ha partido de la suposición de que el valor total de 44.239.989 Kg podría corresponder a aparatos con PCB puros desde su origen, debido a que en la mayoría de los inventarios declarados los aparatos no figuran como contaminados, figurando solamente las características originales de los mismos. Sin embargo, debido a las deficiencias encontradas, el peso total de aparatos declarados con PCB puros en origen es inferior a este valor.

Descontaminación y destrucción de PCB y aparatos contaminados

El Plan Nacional de PCB establece que para el año 2002 se tendrían que haber eliminado 22.500.000 Kg, lo que supondría el 20% del total (116.000.000 Kg) a eliminar antes del 2011.

Hasta enero del 2003 el total de aparatos descontaminados o eliminados entre las seis CC.AA. que los han cuantificado es de 2.691.678 Kg, que supone sólo un 12% de la cantidad de aparatos declarados.

Con todo, la información disponible sobre los avances en la gestión de estos residuos, al menos accesible públicamente, es prácticamente inexistente. Consultados tanto el Ministerio de Medio Ambiente como algunas comunidades y gestores de residuos autorizados, tan sólo podemos concluir que:

- Existen tres plantas de descontaminación de transformadores en el conjunto del territorio español: una de ellas ubicadas en Córdoba (perteneciente a GEMASUR) que utiliza la tecnología de lavado con disolventes; otra en Carreño - Asturias (pertenece a la empresa AGR); y la tercera en Cartagena (pertenece a la empresa BEFESA). La capacidad de tratamiento de las tres plantas sumadas se sitúa entre 7.000 y 9.000 toneladas.

- Según los datos facilitados por el sector de gestores, durante el año 2004 se gestionaron entre las tres plantas 4.000 Toneladas.
- El total de PCB recogidos tiene como destino final la incineración en los países de nuestro entorno, fundamentalmente en Francia, Bélgica e Inglaterra.

TABLA 9. RESUMEN DE DATOS DE INVENTARIOS DE CC.AA.

CC.AA.	Sólido (Kg)	Líquido (Kg)	Aparatos sin especificar (Kg)	Total (Kg)
Andalucía	2.265.060	731.350		2.996.400
Aragón	828.406	364.048		1.192.454
Asturias	1.734.870	616.787		2.351.657
Canarias	56.059	32.131		88.200
Cantabria	278.855	97.492		3765.347
Castilla-La Mancha	*1.070.667	*535.333		1.606.000
Castilla y León	3.495.239	1.324.712		4.819.951
Cataluña	2.872.019	2.676.424		5.548.443
La Rioja	567.281	182.961		750.242
Extremadura	*396.671	*114.591		511.262
Galicia	1.359.817	524.088	72.617	1.883.905
Murcia	482.250	176.908		731.775
Madrid	6.714.850	2.856.847		9.571.697
Navarra	*934.015	*467.007		1.401.022
País Vasco	*5.000.000	*2.500.000		7.500.000
C. Valenciana	1.755.888	1.149.112		2.905.000
Melilla	4.044	1.590		5.634
Totales	29.815.991	14.351.381	72.617	44.239.989

Fuente: MIMAM.

(*) Valores estimados total o parcialmente por la regla 2/3 de sólido y 1/3 de líquido.

3. INICIATIVAS DESARROLLADAS

Uno de los objetivos de las iniciativas de ISTAS es informar: informarnos e informar a las y los trabajadores sobre aspectos ambientales de las empresas que les afectan y se relacionan con sus condiciones y necesidades de seguridad para la prevención de riesgos.

Los bifenilos policlorados (PCB) son uno de los grupos principales de sustancias que tienen una regulación legal específica y a pesar de estar prohibidos se pueden encontrar en los lugares de trabajo. Por ello hemos creído conveniente elaborar y desarrollar una campaña que permita difundir la información recopilada y elaborada sobre el problema. El criterio de trabajo se ha centrado en el axioma de que «conocer es participar, para participar hay que conocer».

En el marco de las iniciativas de la campaña para la eliminación de PCB en las empresas se propuso a FCC-Medio Ambiente la posibilidad de abrir una vía de colaboración con el fin de impulsar la implantación de técnicas de destrucción de PCB distintas a la incineración. Esta propuesta se ha materializado en la firma de un Convenio Marco

entre ISTAS, la Confederación Sindical de CC.OO. y Ámbito (Grupo FCC), para el impulso de estas iniciativas de divulgación y la concreción de un proyecto, desarrollado por Ámbito con la colaboración de ISTAS, para el tratamiento de PCB mediante la tecnología del sodio metálico.

En este escenario, se centraron los esfuerzos en un **objetivo** básico: **visualizar el problema**.

Para ello, y considerando el tiempo disponible, se han desarrollado dos iniciativas:

- **Materialización de una jornada** en la primera semana de octubre. La misma se desarrolló de acuerdo a los contenidos detallados en el programa que sigue.
- **Elaboración y distribución de un díptico informativo**, distribuido junto a la guía sobre PCB. El «público objetivo» ha sido: trabajadores y direcciones de empresas afectadas, técnicos y responsables de las Administraciones autonómicas.

Así mismo y con el objeto de mantener una continuidad que permita mantener la participación en la resolución del problema de los PCB, se ha impulsado una **línea de trabajo** centrada en la planificación de una completa campaña a desarrollar durante 2005, orientada a lograr la implicación de la Administración central (MIMAM) y de las empresas consideradas como grandes y medianas poseedoras.

Desarrollo y contenidos de la campaña

Objetivos

- Difundir información básica sobre los riesgos asociados a los PCB.
- Impulsar la formación básica entre el personal potencialmente expuesto en el ámbito laboral.
- Fomentar la colaboración entre las Administraciones, las empresas gestoras y las empresas poseedoras de PCB.
- Proponer iniciativas de gestión y tratamientos técnicamente seguros y ambiental y socialmente aceptables.

De acuerdo a los objetivos planteados se ha desarrollado una campaña informativa, en el ámbito de las empresas poseedoras de PCB y materiales contaminados, que pretende facilitar la salida de los lugares de trabajo de estos tóxicos hacia una gestión adecuada.

La orientación y contenidos quedaron explícitos en la jornada cuyo programa se detalla a continuación, realizada en octubre de 2004.

PROGRAMA DE LA JORNADA	
10 h	<p>Inauguración <i>Leandro Sequeiros.</i> Coordinador de la Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental, Junta de Andalucía. <i>José Lagares Rosado.</i> Secretario de Salud Laboral y Medio Ambiente, Comisiones Obreras Andalucía. <i>Aurelio Blasco Lázaro.</i> Director general de Ámbito-Grupo FCC.</p>
10:30 h	<p>Presentación del 1^{er} módulo mañana <i>Manuel Cuervas.</i> Director Delegación Sur Ámbito-Grupo FCC.</p>
10:40 h	<p>Estrategias institucionales para la gestión de PCB <i>Lorenzo Hervás.</i> Jefe de Departamento de Gestión de Residuos Peligrosos, Junta de Andalucía.</p>
11:10 h	<p>Coloquio</p>
11:20 h	<p>Eliminación segura de PCB y otros COP en el marco del Convenio de Estocolmo. <i>Miquel Crespo.</i> Técnico de ISTAS.</p>
11:50 h	<p>Coloquio</p>
12:00 h	<p>Pausa-café</p>
12:30 h	<p>Presentación del 2^o Módulo mañana <i>Iñigo Sanz Pérez.</i> Director de Actividad de Ámbito-Grupo FCC</p>
12:40 h	<p>Modelo actual de gestión de residuos de PCB: una iniciativa capaz. <i>Vicente Marqués.</i> Ámbito-Grupo FCC.</p>
13:10 h	<p>Coloquio</p>
13:20 h	<p>Campaña de CC.OO. para la eliminación de PCB en las empresas. <i>Carlos Martínez Camarero.</i> Adjunto Departamento de Medio Ambiente, CS-CC.OO.</p>
13:35	<p>Campaña de sensibilización sobre PCB. <i>Joaquín Albarreal.</i> Jefe de Departamento de Educación Ambiental, Junta de Andalucía.</p>
13:50 h	<p>Coloquio</p>
14:00 h	<p>Comida</p>

4. BIBLIOGRAFÍA

- (1) ICF Kaiser, INC. (1999) *Guidelines for the Identification of PCB and Materials Containing PCB*. UNEP Chemicals, Geneva.
- (2) Raúl Fernández de Arroiabe, *Aproximación a la problemática de la eliminación de los PCB*. Ponencia presentada en el Congreso Implementación del Convenio de Contaminantes Orgánicos Persistentes, Madrid 26-27 de noviembre de 2001.
- (3) *Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de policlorobifenilos (PCB) y Policloroterfenilos (PCT) y Aparatos que los contengan (2001-2010)*. BOE nº 93, 18 de abril de 2001.
- (4) Camarero, L. et al. (1995) *Remote mountain lakes as indicators of diffuse acidic and organic pollution in the Iberian Peninsula (AL: PE 2 studies. Acid Reign '95' Water, Air and Soil Pollution 85: 487-492, 1995)*. Kluwer Academic Publishers.
- (5) Johnston, P. (1992) *Muerte en pequeñas dosis. Los efectos de los organoclorados en los ecosistemas acuáticos*. Greenpeace, Madrid, 1992.
- (6) Arena, J.M. & Drew, R.H. (eds) *Poisoning Toxicology, Synptoms, Treatments*. 5th ed. Springfield, IL: Charles C. Thomas Publisher, 1986. p. 261.
- (7) Porta, M., Kogevinas, M., Zumeta, E., Sunyer, J., Ribas-Fitó, N. et al. (2002) «Concentraciones de compuestos tóxicos persistentes en la población española: el rompecabezas sin piezas y la protección de la salud pública». *Gaceta Sanitaria 2002*; 16 (3).
- (8) International Agency for Research on Cancer (IARC) *Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans: cancer databases*; <http://monographs.iarc.fr/monoeval/crthall.html>.
- (9) US National Library of Medicine Hazardous Substance Database: *Human Health effects of PCB*; <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>.
- (10) EPA *Health Effects of PCB*; <http://www.epa.gov/opptintr/pcb/effects.html>
- (11) Página web *Nuestro Futuro Robado* <http://www.ourstolenfuture.org>
- (12) Jacobson, J.L. and S. W. Jacobson. 1996. «Intellectual Impairment in Children Exposed to Polychlorinated Biphenyls in Utero». *New England Journal of Medicine* 335 (11): 783-789.
- (13) Weisglas-Kuperus, N, S Patandin, GAM Berbers, TCJ Sas, PGH Mulder, PJJ Sauer and H Hooijkaas. 2000. «Immunologic Effects of Background Exposure to Polychlorinated Biphenyls and Dioxins in Dutch Preschool» *Children. Environmental Health Perspectives* 108: 1203-1207.
- (14) Loomis D., Browning S. R., Schenck A. P., Gregory E., Savitz D. A. (1997); «Cancer mortality among electric utility workers exposed to polychlorinated biphenyls». *Occup Environ Med* 1997 Oct; 54 (10): 720-728.
- (15) Gustavsson P., Hogstedt C.; (1997) «A cohort study of Swedish capacitor manufacturing workers exposed to polychlorinated biphenyls (PCBs)». *Am J Ind Med* 1997 Sep; 32 (3): 234-239.
- (16) Kitamura K., Kikuchi Y., Watanabe S., Waechter G., Sakurai H., Takada T.; (2000) «Health effects of chronic exposure to polychlorinated dibenzo-P-dioxins (PCDD), dibenzofurans (PCDF) and coplanar PCB (Co-PCB) of municipal waste incinerator workers». *J Epidemiol* 2000 Jul; 10 (4): 262-270.
- (17) Allsopp, M., Costner, P. y Johnston, P. (2001) *Incineración y Salud. Conocimientos actuales sobre los impactos de las incineradoras en la salud humana*. Greenpeace España.