

## CONTAMINACION AMBIENTAL: BIFENILOS POLICLORADOS

Fritz Räuchle\* e Isabel Díaz Tang\*\*

### INTRODUCCION

La historia de los bifenilos policlorados (PCB) es un ejemplo —ya clásico— de cómo una clase de sustancias que desde el punto de vista técnico constituye un material excelente, con el creciente conocimiento sobre la influencia que ejercen algunos de sus productos en el medio ambiente está condenada a desaparecer del mercado.

Los PCB integran una familia de compuestos conocida ya desde mediados del siglo pasado; sin embargo, fue recién durante la Segunda Guerra Mundial que fue dada a conocer su utilidad técnica.

En general, puede distinguirse entre dos tipos de aplicación de los PCB:

#### En sistemas abiertos

Algunas de sus aplicaciones se encuentran como:

- lubricantes para engranajes
- aceites de alta compresión para bombas

---

\* Profesor Honorario - Departamento de Ciencias - Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

\*\* Sección Química - Departamento de Ciencias - PUCP.  
Laboratorio de Corrosión - Facultad de Ciencias e Ingeniería - PUCP.

- suavizadores para plásticos
- pegamentos
- retardadores de combustión
- vehículos para insecticidas
- colorantes
- adhesivos

### En sistemas cerrados

- Debido a sus excelentes propiedades dieléctricas son utilizados en transformadores y condensadores
- en minas de carbón, como líquidos hidráulicos
- como intercambiadores de calor líquidos, no inflamables.

Por medio de esta diversidad de usos, en los años 60 fueron detectados los PCB a nivel mundial, siendo conocidos bajo distintos nombres comerciales: Aroclor (USA, Canadá), Clophen (Alemania), Kanachlor (Japón) y Phénoclor (Francia), principalmente. Durante esta década, sólo en Alemania fueron producidas 23000 toneladas de PCB.

## PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS PCB

### a) Propiedades físicas

Viscosidad, densidad, punto de ebullición, pérdida por evaporación e inflamabilidad varían en proporción directa con el grado de cloración. No son higroscópicos y son sublimables a partir de 130°C si contienen un 45% del halógeno (como ocurre con el derivado triclorado).

Todos los representantes de los PCB son inodoros, incoloros (a amarillentos), resistentes a la oxidación, permanentemente termoplásticos, no corrosivos y poseen constante dieléctrica muy elevada.

Cabe destacar especialmente su resistencia a los álcalis y ácidos, entre otros reactivos, y frente al agua salada. Son muy solubles en disolventes orgánicos.

En agua se disuelven los miembros inferiores (monoclorobifenilo y diclorobifenilo, por ejemplo) a razón de 1 mg por litro de agua; el 3,4,3,4'

-tetraclorobifenilo presenta una solubilidad de apenas 750 nanogramos por litro.

b) Propiedades químicas

Los PCB pueden ser representados por la siguiente estructura general (Fig. 1).

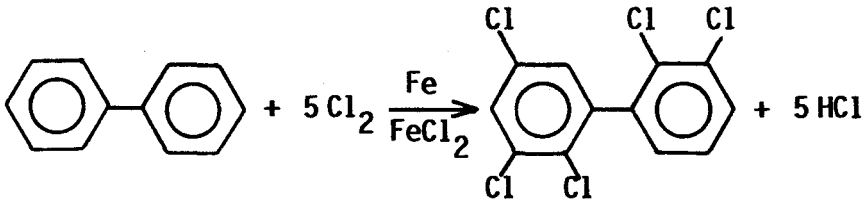


Fig. 1 Estructura general de los PCB

Un bifenilo policlorado puede ser obtenido mediante una reacción de sustitución sobre un bifenilo, tal como se muestra en el ejemplo de la Fig. 2, en el caso del 2,3,5,2',3'-pentaclorobifenilo. Este producto es uno de los 210 congéneres teóricamente posibles (incluido el bifenilo) de los PCB. En la Tabla 1 se presenta las combinaciones que conducen a los diferentes isómeros.

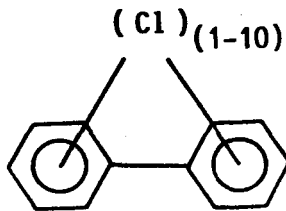


Fig. 2 Obtención del 2,3,5,2',3'-pentacloro- bifenilo

No obstante las diversas posibilidades representadas en la Tabla 1, en la síntesis a escala técnica son obtenidos preferentemente ciertos isómeros; por ejemplo, en una mezcla de PCB de baja grado de cloración se encuentra: 58,7% de triclorobifenilos, 29,6% de diclorobifenilos y 10,3% de tetraclorotrifenilos.

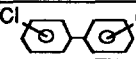
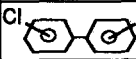
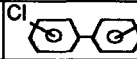
Las sitios de sustitución preferidos de los átomos de cloro son las posiciones 2 y 4, y mayormente los productos son asimétricos.

### TOXICIDAD DE LOS PCB

Existen principalmente tres puntos de ataque, en lo que se refiere al comportamiento correspondiente al ser humano frente a estos compuestos:

- la piel
- diversos órganos, como el hígado y los riñones
- sistema enzimático y hormonal

Tabla 1 Posibilidades de isomería de los PCB

N-C	N-I	CONFIGURACION Y N-I								
		 N-I		 N-I		 N-I				
0	1	0	0	1						
1	3	1	0	3	1	1	6			
2	12	2	0	6						
3	24	3	0	6	2	1	18			
4	42	4	0	3	3	1	18	2	2	21
5	46	5	0	1	4	1	9	3	2	36
6	42	5	1	3	4	2	18	3	3	21
7	24	5	2	6	4	3	18			
8	12	5	3	6	4	4	6			
9	3	5	4	3						
10	1	5	5	1						
Σ	210	39			93			78		

N-C: Número de átomos de cloro por molécula

N-I: Número de isómeros posibles

Por su acción sobre los tegumentos provocan la aparición de dermatitis. Se trata, sobre todo, de foliculitis y de acné grave (acné crónico) que se asienta en las regiones descubiertas y en las regiones sometidas a fricción.

También pueden provocar trastornos nerviosos y hepáticos, así como la destrucción del sistema enzimático y hormonal.

Se ha llegado a la conclusión de que los PCB altamente clorados causan problemas de salud crónicos, mientras que los menos clorados exhiben una toxicidad más pronunciada, pero menos duradera.

La explicación de estos fenómenos está en la volatilidad y más fácil degradación de los compuestos inferiores.

En experimentos realizados en alimentos, se encontró que el grado de cloración en el producto antes de la digestión, es más alto que en los excrementos de, por ejemplo, peces y moluscos. Las ratas también son capaces de degradar PCB menos clorados. Hasta en el lodo de las plantas purificadoras se ha detectado este cambio en la relación miembros superiores / miembros inferiores.

En conclusión, se puede decir que los productos son tanto más peligrosos cuanto más elevado es su contenido en cloro. Los límites de concentración tolerable generalmente admitidos para exposiciones repetidas en la atmósfera son de 5 mg/m<sup>3</sup> para el derivado triclorado y de 0,5 mg/m<sup>3</sup> para el análogo pentaclorado.

## DEGRADACION Y ELIMINACION

Ya ha sido comentado el carácter "inerte" de estos compuestos; sin embargo, una calcinación a 800°C permite la destrucción total de los PCB. A 1200°C se eliminan los PCB en 0,3 segundos y existe la posibilidad de su destrucción bajo condiciones de reducción en las plantas de síntesis de amoníaco.

La degradación biológica sólo es posible con los productos poco clorados (existe experiencia con los productos comerciales Clophen A-30 y A-40, por ejemplo). Las posiciones no ocupadas por los átomos de cloro se hidroxilan y así empieza la desestabilización del anillo aromático; de esta manera, los mamíferos son capaces de eliminarlos por medio de la orina.

Los compuestos altamente clorados se depositan en los tejidos grasos del cuerpo.

### ALTERNATIVAS AL USO TECNICO DE PCB

Debido a sus excelentes propiedades técnicas —sin considerar la toxicidad colateral intrínseca de esta clase de compuestos químicos— resulta difícil introducir en el mercado el uso de productos sustitutos de los PCB.

Sin embargo, a continuación se menciona algunos de estos productos técnicos alternativos:

– Naftalenos alquilados, benciltoluenos, clorobencenos, parafinas cloradas, diariletanos, ditoliléter, fosfato-ésteres, ftalatos, poliglicoles, polidimetilsiloxanos.

Los biológicamente más aceptados son los poliglicoles, debido a que son bien tolerados por los peces.

También se viene propagando el uso de ftalatos por su relativa baja toxicidad para los peces, mientras que los fosfato-ésteres son altamente tóxicos y sólo permitidos para fines especiales.

### CONSIDERACIONES FINALES

Sólo en Alemania se encuentran unas 55,000 toneladas de PCB que deben ser destruidas. Desde el año 1984 ya no se fabrican estos “excelentes” productos y su uso fue prohibido definitivamente en 1989.

Las plantas instaladas y conteniendo grandes cantidades de PCB se siguen usando con el máximo cuidado, lo cual es posibilitado por los progresos en Química Analítica en este campo, citando a la cromatografía de gases con detector ECD y límite de detección de 10 picogramos, como ejemplo.

Los casos reales de contaminación producida por estos compuestos son diversos y se extienden a distintas partes del mundo; los bifenilos polibromados análogos (PBB) fueron la causa del envenenamiento masivo de ganado ocurrido en Michigan (USA) en 1973, debido a la adición de PBB como retardador de combustión a alimento de ganado durante su formulación.

Actualmente existen sólo en Alemania cuatro plantas de calcinación y un depósito bajo tierra para la eliminación de los desechos de estos productos que iban a conquistar el mundo técnico al no investigar sus consecuencias biológicas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Richardson, A., Robinson, J., Crabtree, A.N., Baldwin, M.K. (1971) Residues of polychlorinated polychlorobiphenyls in biological samples, *Pesticides Monitoring Journal*, **4**, 169-176.
2. Bauer, U. (1972) Polychlorbiphenyle und Wasser, *Gas u. Wasserf.*, **113**, 58-63.
3. Bauer, U. (1973) *Vom Wasser*, Band 41, Verlag Chemie, Germany, pp. 93-101.
4. Fabre, R. y Truhaut, R. (1976) *Toxicología*, Tomo I, Paraninfo, Madrid.
5. Alberti, J. (1985) *Umwelt*, **5**, 434-435.
6. Schulz, J. (1986) **MSD Application Note (Hewlett Packard)**, 1-9.
7. Reinhart, A. (1987) *Müll und Abfall*, **5**, 1-14.
8. Safe, S. (Ed.) (1987) **Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Mammalian and Environmental Toxicology**, Springer Verlag, N.Y.
9. Mischer, G., Schnabel, W. (1989) **Staub: Reinhaltung der Luft**, 217-220.
10. Wagner, U.K., Gross, H. (1989) Erfahrungen mit der Entsorgung von PCB in der Schweiz, *Abfallwirtschaftsjournal*, Vol. 1, **5**, 35-41.
11. Manahan, S. (1989) **Toxicological Chemistry: A Guide to Toxic Substances in Chemistry**, Lewis Publishers, Inc.