

Sustitución de PBDEs

Retardantes de Llama



Centro Nacional de Referencia sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes

Contenidos



1. Motivos para la sustitución de PBDEs.
2. Actuación de los retardantes de llama bromados.
3. Aplicaciones industriales en las que se utilizan retardantes de llama bromados.
4. Plásticos y textiles: alternativas a PBDEs.
5. Métodos de evaluación de retardancia de llama.
6. Otros compuestos alternativos a los retardantes de llama.

1. Motivos para la sustitución de PBDEs

- Descripción de los éteres de difenilo polibromados: homólogos y congéneres.

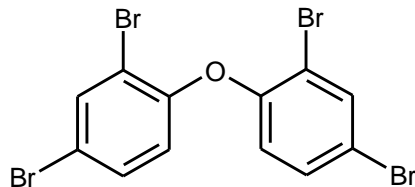
- Persistencia
- Bioacumulación
- Toxicidad
- Transporte a larga distancia



Carácter COP

Descripción de los Éteres de Difenilo Polibromados

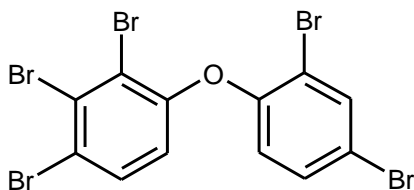
TetraBDE



BDE 047

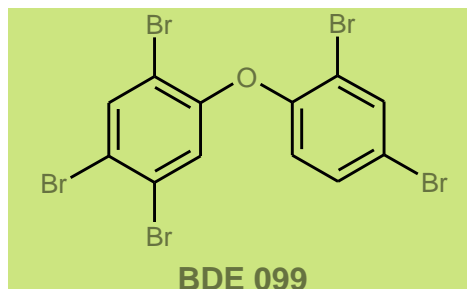
2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether

PentaBDE



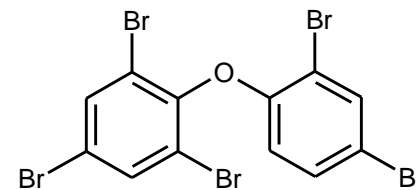
BDE 085

2,2',3,4,4'-pentabromodiphenyl ether



BDE 099

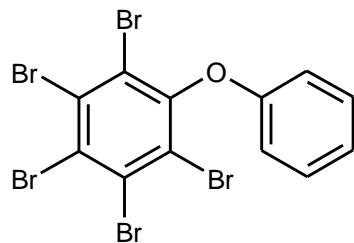
2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether



BDE 100

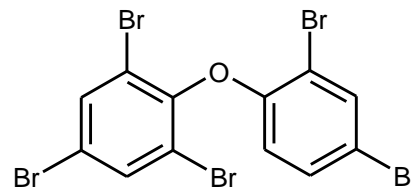
2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether

Descripción de los Éteres de Difenoilo Polibromados



BDE 116

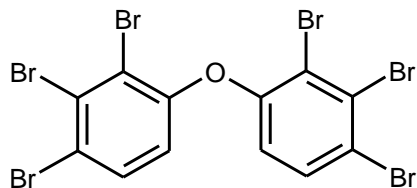
2,3,4,5,6-pentabromodiphenyl ether



BDE 119

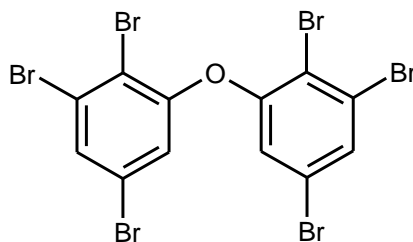
2,3,4,4',6-pentabromodiphenyl ether

HexaBDE



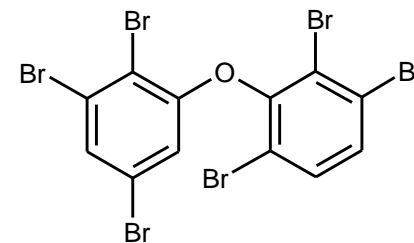
BDE 128

2,2',3,3',4,4'-hexabromodiphenyl ether



BDE 153

2,2',3,3',5,5'-hexabromodiphenyl ether

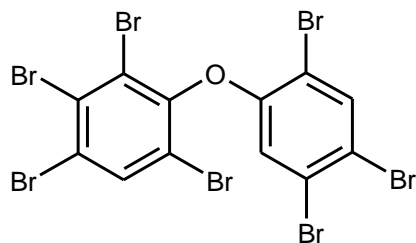


BDE 154

2,2',3,3',5,6'-hexabromodiphenyl ether

Descripción de los Éteres de Difenilo Polibromados

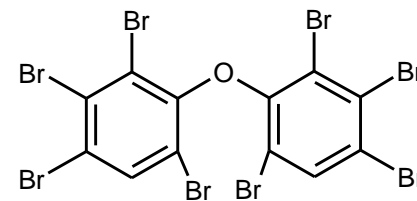
HeptaBDE



BDE 183

2,2',3,4,4',5',6'-heptabromodiphenyl ether

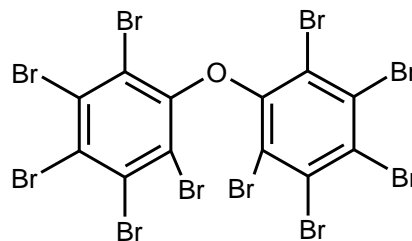
OctaBDE



BDE 197

2,2',3,3',4,4',6,6'-octabromodiphenyl ether

DecaBDE



BDE 209

2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-decabromodiphenyl ether

Persistencia

Ensayo estándar de la Organización de Cooperación y Desarrollo económicos con lodo activado aeróbicamente, **el PeBDE no es fácilmente biodegradable.**

No se ha informado de ningún estudio experimental sobre su degradación abiótica.

Es posible que se registre alguna fotólisis causante de desbromación reductiva y que constituya una posible vía de degradación abiótica.

No se ha informado sobre la degradación abiótica y biótica del PeBDE en sedimentos, agua y suelos en estudios experimentales, pero se ha estimado que el *periodo de semidesintegración del BDE-99 y el BDE-47 es de 600 días (sedimento aeróbico) y 150 días (agua y suelos) para ambos.*

Bioacumulación

El PeBDE comercial y todos sus componentes tienen **valores log Kow superiores a 5**.

Todos los componentes del PeBDE comercial se bioconcentraron en carpas (*Cyprinus carpio*), **factor de bioconcentración del PeBDE comercial en carpas próximo a 27.400**.

El BDE-99 y el BDE-47 son absorbidos eficientemente por el lucio (*Esox lucius*) y a niveles comparables o más altos que muchos PCB.

Los potenciales de bioacumulación del BDE-47 y el BDE-99 en el mejillón común (*Mytilus edulis*) son superiores a los de varios PCB.

El BDE-47, el BDE-99 y el PeBDE comercial son absorbidos eficientemente y excretados con lentitud por ratas y ratones.

Las concentraciones de los principales congéneres del PeBDE aumentan en niveles tróficos sucesivos.

Los éteres de difenilo tetrabromado y difenilo pentabromado exhiben el potencial de biomagnificación más alto de todos los éteres de difenilo polibromados estudiados.

Toxicidad

Estudios de ratas indican que el **hígado es el principal órgano diana** afectado por PeBDE. En otros estudios in vivo se han constatado neurotoxicidad del desarrollo y efectos en el comportamiento de ratones jóvenes. Se ha informado de efectos inmunotóxicos en ratones, pero no en ratas.

Varios congéneres del PeBDE son al parecer **antiestrogénicos**.

Un estudio estándar de 48 horas demostró que el BDE-47 es sumamente tóxico para el copépodo *Acartia tonsa* y causó perturbaciones del desarrollo larval a niveles mucho más bajos. La EC_{50} en un estudio de cinco días fue de 13 $\mu\text{g/L}$.

Transporte a Larga Distancia

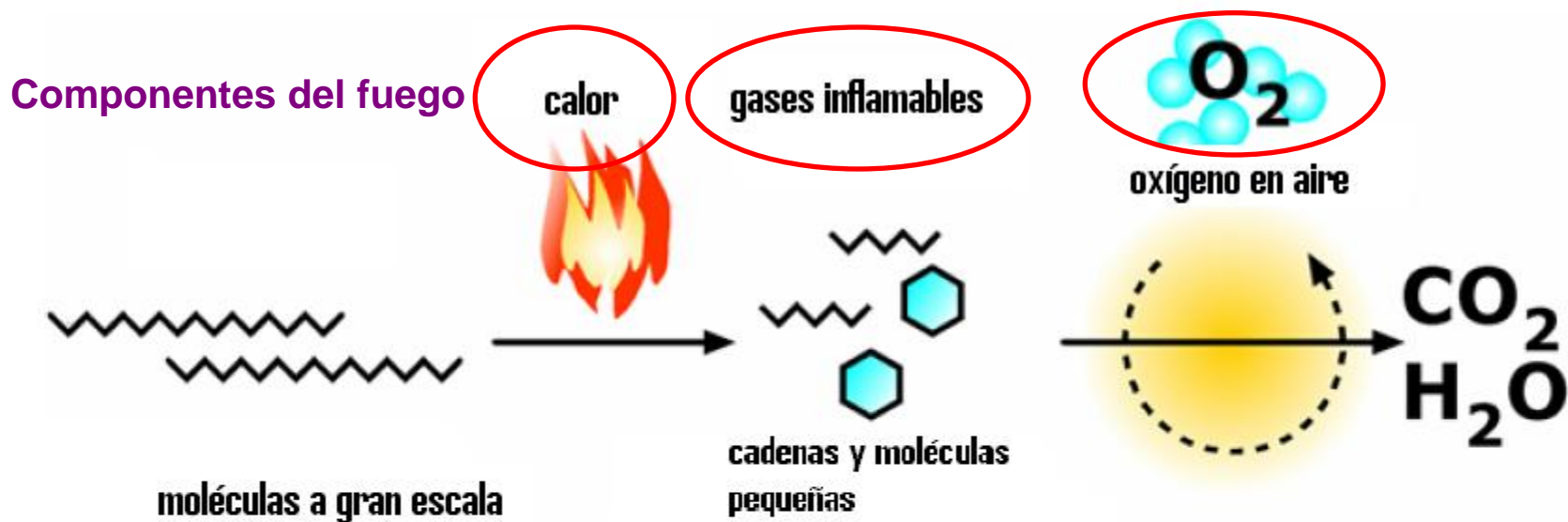
Los componentes del PeBDE comercial exhiben una **volatilidad** (presiones de vapor que oscilan entre $9,6 \cdot 10^{-8}$ y $4,7 \cdot 10^{-5}$ Pa) y **solubilidad en el agua** (entre 2 y 13 $\mu\text{g/L}$), **muy bajas**.

Las constantes de la Ley de Henry sugieren que los componentes menos bromados se pueden volatilizar en cantidades apreciables de soluciones acuosas.

La presión de vapor y la solubilidad en el agua disminuyen con el aumento de la bromación. Según las estimaciones del período de semidesintegración en la atmósfera a partir de modelos de la relación estructura-actividad, el éter de pentabromodifenilo tiene **potencial de transporte a larga distancia** en la atmósfera (**10 a 20 días en el caso del BDE-99**; 11 días en el del BDE-47). Se ha hallado tanto BDE-47 como BDE-99 en el aire ártico del Canadá y Suecia.

Los datos de zonas remotas siguen siendo escasos, pero indican claramente una contaminación creciente con PeBDE. Se ha informado de concentraciones de los dos congéneres más importantes en ballenas del orden de 66 a 864 ng/g lípido (BDE-47) y 24 a 169 ng/g lípido (BDE-99).

2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados



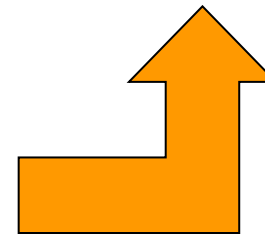
Los retardantes de llama actúan en alguna de las fases clave del proceso de combustión:

- ◆ atrapan los radicales $\text{H}\cdot$ y $\text{OH}\cdot$
- ◆ previenen la pirólisis (actuando en el gas)
- ◆ producen una película de residuo calcinado en la superficie que actúa como resistente al fuego
- ◆ emiten nitrógeno u otros gases no inflamables
- ◆ emiten agua, efecto de refrigeración y dilución
- ◆ los retardantes de llama actúan de manera sinérgica combinando algunos o todos estos efectos

2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

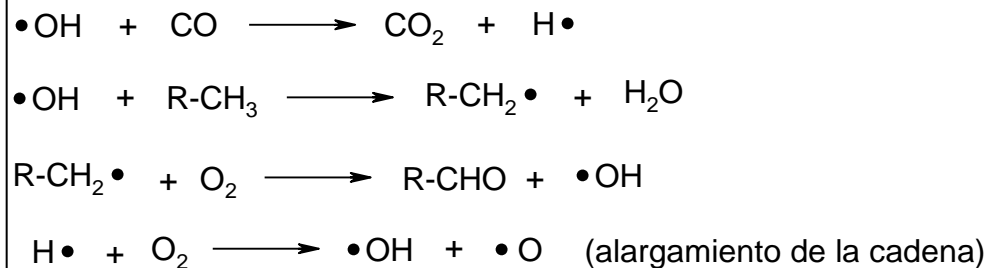


Agentes que inducen la formación de un residuo calcinado (char), en la superficie del material que arde; esto limita la transferencia de calor y de masa.

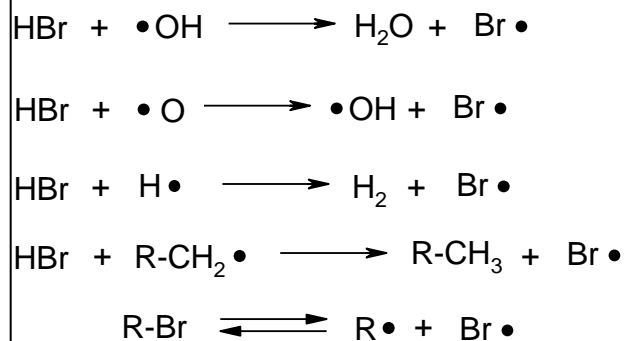


2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

Mecanismos de propagación de la combustión:



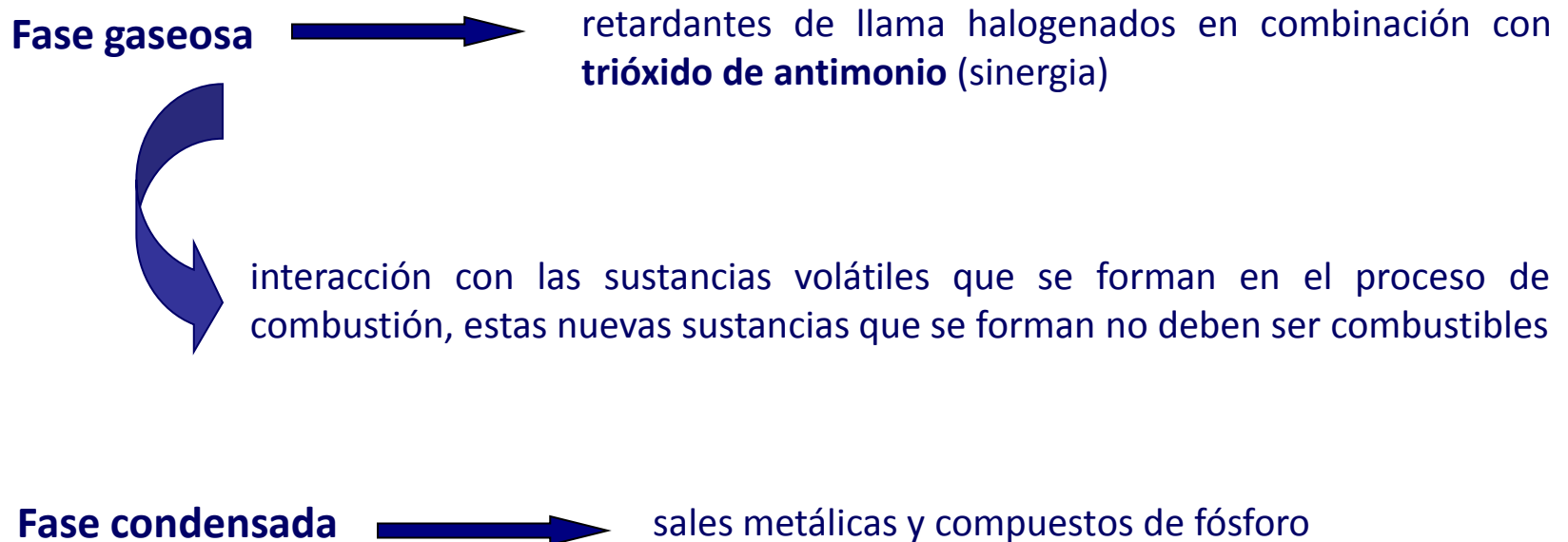
Mecanismos de bromación en la fase vapor:



Se genera un gran número de radicales bromo

2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

Aluminio e hidróxido de magnesio sirven como sumideros de calor, se descomponen en un proceso altamente endotérmico, emitiendo vapores no combustibles que suavizan la llama.



2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

Los retardantes de llama se pueden considerar **reactivos** o **aditivos**.

Reactivos cuando se adicionan durante el proceso de polimerización y se convierten en parte integral del polímero. El resultado es una modificación de las propiedades protectoras de llama, y una estructura molecular diferente comparando con el polímero original.

Aditivos cuando se incorporan al plástico antes, durante, o más frecuentemente inmediatamente después de la polimerización. Se usan especialmente para termoplásticos.

Son compatibles ya que actúan como plastificadores, de otra forma se considerarían como relleno.

Los aditivos retardantes de llama están **únicamente enlazados al polímero físicamente** y su liberación al medio ambiente dependerá de las características específicas de la molécula en particular.

2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

Los aditivos son más versátiles en su aplicación, pero el fabricante o productor debe usar la cantidad especificada para cada uso, de otro modo se pueden difundir fuera del sustrato durante el proceso de fabricación o bien durante el uso del producto.

Reactivos vs aditivos – Ventajas y desventajas

Propiedad	Aditivo	Reactivo
Permanencia	-	+
Florescencia	-	+
Especificidad con el sustrato	+	-
Variación de la concentración	+	-
Consideraciones ecológicas	-	+
Facilidad de incorporación	+	-

+ = Ventaja

- = Desventaja

2. Actuación de los Retardantes de Llama Bromados

Ejemplos retardantes de llama **reactivos**:

Bis(2-hidroxiethylamino)octaclorobifenilo
Diethyl N,N-bis(2-hidroxietil)aminoetilfosfonato
Anhídrido cloréndico
Anhídrido tetrabromoftálico
Anhídrido tetracloroftálico

Ejemplos retardantes de llama **aditivos**:

Fosfato amónico
Hidrato de aluminio
Parafinas bromadas
Parafinas cloradas
Decabromodifenil éter(DecaBDE)
Octabromodifenil éter (OctaBDE)
Fosfato de tricresilo
Fosfato de trioctilo
Fosfato de trifenilo

Fosfato de tris(2,3-dibromo)propilo
Fosfato de tris(tricloro)propilo
Retardantes de llama poliméricos
Policarbonato bromado
Poliestireno bromado
Polietileno clorado
Cloruro de polivinilo (PVC)

3. Aplicaciones Industriales que utilizan PBDEs

Polímeros que utilizan retardantes de llama de uso común **en aparatos eléctricos y electrónicos:**

Acrilonitrilobutadienoestireno (ABS)

Epóxidos

Poliamida

Poliésteres

Poliiolefinas

Poliestireno

Poliuretano

Estirenoacrilonitrilo (SAN)

PVC

Termoselladores plásticos

También es comúnmente utilizado el poliestireno de alto impacto (HIPS).

3. Aplicaciones Industriales que utilizan PBDEs

PLÁSTICOS	APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	PBDE
Poliolefinas (polietileno o polipropileno)	Juguetes, aislamiento de cables, tuberías para electricidad, teléfonos, paneles de control, carcasas para electrodomésticos	DecaBDE
Poliestireno Poliestireno de alto impacto	Ordenadores, carcasas de aparatos eléctricos, equipos de refrigeración	DecaBDE DecaBDE + óxido de antimonio
PVC (cloruro de polivinilo)	Materiales aislantes, tuberías para electricidad, juguetes	DecaBDE
ABS (acrilonitrilobutadieno estireno termopolímero)	Empaquetamiento de máquinas, tableros de mandos, juguetes, equipos de refrigeración, teléfonos y otros artículos de consumo electrónicos	DecaBDE
Poliamida (Nylon)	Manillares, ruedas, alfombras	DecaBDE
Policarbonato	Destellos de seguridad, recubrimientos para luminarias, aplicaciones eléctricas del hogar	
PMMA (metilmeta acrilato)	Recubrimiento de luces de techo	DecaBDE
SAN (Estireno acrilonitrilo)	Reflectores, puertas para equipos de refrigeración, carcasas de baterías	DecaBDE
PPO (Óxido de polifenileno)	Equipos de telecomunicación, empaquetamiento de microondas	DecaBDE
Poliésteres insaturados	Ajustes eléctricos, aislamiento eléctrico	DecaBDE
Resinas epóxicas	Encapsulación de componentes eléctricos	DecaBDE
Poliuretanos	Sellar, amortiguar, cubrir, aislamiento eléctrico	DecaBDE
Gomas y elastómeros termoplásticos	Sellar, aislamiento eléctrico	DecaBDE

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

PLÁSTICOS	Retardantes de llama alternativos halogenados	Retardantes de llama alternativos no halogenados	
Poliolefinas (polietileno o polipropileno)	<p><i>Parafinas bromadas</i> <i>Polietileno bromado</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Hexabromociclododecano</i> <i>Óxido de octabromodifenilo</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Ditiopirofosfato</i> <i>Hidróxido de magnesio</i></p>	<p><i>Titanato de neoalcoxi</i> <i>tri(dioctil)fosfato</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimonito de sodio</i> <i>Borato de zinc</i></p>
Poliestireno	<p><i>Poliestireno bromado</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Poliestireno clorado</i> <i>Dibromoetildibromociclohexano</i> <i>Óxido de octabromodifenilo</i> <i>Pentabromoclorociclohexano</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i> <i>Pentabromoetilbenceno</i> <i>Benzoato de pentabromofenilo</i> <i>Fosfato de tris(betacloropropilo)</i> <i>Fosfato de tris(dicloropropilo)</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Fosfato de cresilo bifenilo</i> <i>Hidróxido de magnesio</i> <i>Titanato de neoalcoxi</i> <i>tri(dioctil)fosfato</i> <i>Fosfato de octil difenilo</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i></p>	<p><i>Antimonito de sodio</i> <i>Fosfato de tributoxietilo</i> <i>Fosfato de tributilo</i> <i>Fosfato de tricresilo</i> <i>Fosfato de triisopropilfenilo</i> <i>Fosfato de trixilenilo</i> <i>Borato de zinc</i></p>
PVC (cloruro de polivinilo)	<p><i>Parafinas bromadas</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i> <i>Fosfato de tris(betacloropropilo)</i> <i>Fosfato de tris(dicloropropilo)</i> <i>Bromuro de vinilo</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Fosfato de t-butilfenilo</i> <i>Fosfato de cresildifenilo</i> <i>Fosfato de diisopropilfenilo</i> <i>Fosfato de isodecildifenilo</i> <i>Carbonato de magnesio</i> <i>Hidróxido de magnesio</i> <i>Óxido de molibdeno</i> <i>Titanato de neoalcoxi</i> <i>tri(dioctil)fosfato</i></p>	<p><i>Fosfato de octildifenilo</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimonito de sodio</i> <i>Fosfato de tributoxietilo</i> <i>Fosfato de tricresilo</i> <i>Fosfato de trietilo</i> <i>Fosfato de triisopropilfenilo</i> <i>Fosfato de trioctilo</i> <i>Fosfato de trifenilo</i> <i>Fosfato de trixilenilo</i> <i>Borato de zinc</i></p>

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

PLÁSTICOS	Retardantes de llama alternativos halogenados		Retardantes de llama alternativos no halogenados	
ABS (acrilonitrilobutadieno estireno termopolimero)	<i>Polietileno bromado</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Hidrocarburos halogenados</i> <i>Óxido de octabromodifenilo</i> <i>Óxido de pentabromo difenilo</i> <i>Pentabromometilbenceno</i>	<i>Benzoato de pentabromofenilo</i> <i>Cloruro de polivinilo</i> <i>Tetrabromobisfenol A</i> <i>Triclorometiltetrabromobenceno</i> <i>Tris(tribromofenoxy)etano</i>	<i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Hidróxido de magnesio</i> <i>Fosfato de octildifenilo</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Fosfato de trifenilo</i> <i>Borato de zinc</i>	
Poliamida (Nylon)	<i>Epóxidos bromados</i> <i>Poliestireno bromado</i> <i>Hexabromobenceno</i>	<i>Óxido de octabromodifenilo</i> <i>Óxido de poli(dibromofenileno)</i>	<i>Óxido de hierro</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i>	
Policarbonato	<i>Tetrabromobisfenol A</i> <i>Tetraclorobisfenol A</i> <i>Fosfato de tris(betacloroetilo)</i>		<i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Bisfenol A</i> <i>Sulfato de calcio</i>	<i>Hidróxido de magnesio</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimonito de sodio</i> <i>Borato de zinc</i>
PMMA (metilmeta acrilato)	<i>N/I</i>		<i>Fosfororinanos</i>	
SAN (Estireno acrilonitrilo)	<i>No</i>		<i>Fósforo rojo (encapsulado)</i>	
PPO (Óxido de polifenileno)	<i>Su utilizan muchos tipos</i>		<i>Fosfato de trifenil bifenilo</i> <i>Fosfato de tricresilo</i> <i>Fosfato de trifenilo</i>	

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

PLÁSTICOS	Retardantes de llama alternativos halogenados	Retardantes de llama alternativos no halogenados	
Poliésteres insaturados	<p><i>Parafinas cloradas</i> <i>Anhídrido clorédico</i> <i>Dibromoneopentil glicol</i> <i>Hexabromociclododecano</i> <i>Acrilato de pentabromobencilo</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Sulfato de calcio</i> <i>Fosfonato de di(polioxoetilen)</i> <i>hidroximetilo</i> <i>Carbonato de magnesio</i></p>	<p><i>Hidróxido de magnesio</i> <i>Óxido de molibdeno</i> <i>Titanato de neoalcoxi tri(dioctil)fosfato</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimoniato de sodio</i></p>
Resinas epóxicas	<p><i>Poliestireno bromado</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Anhídrido clorédico</i> <i>Dibromoneopentil glicol</i> <i>Pentabromofenol</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i> <i>Tetrabromobisfenol A</i> <i>Tetraclorobisfenol A</i> <i>Anhídrido tetracloroftálico</i> <i>Tribromofenol</i> <i>Fosfato de tris(betacloroetilo)</i> <i>Fosfato de tris(dicloropropilo)</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Fosfato de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Fosfato de t-butilfenil difenilo</i> <i>Fosfato de cresil fenilo</i> <i>Titanato de neoalcoxi tri(dioctil)fosfato</i> <i>Fosfato de octil difenilo</i></p>	<p><i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimoniato de sodio</i> <i>Fosfato de tributoxietilo</i> <i>Fosfato de tributilo</i> <i>Fosfato de tripropilfenilo</i> <i>Fosfato de trixenilo</i> <i>Borato de zinc</i></p>

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

PLÁSTICOS	Retardantes de llama alternativos halogenados		Retardantes de llama alternativos no halogenados	
Poliuretanos	<p><i>Parafinas bromadas</i> <i>Anhídrido clorédico</i> <i>Parafinas cloradas</i> <i>Dibromoetildibromociclohexano</i> <i>Dibromoenopentilglicol</i> <i>Hexabromociclododecano</i> <i>Ácido hexaclaroendometilentetrahidroftalico (HET acid)</i> <i>Óxido de pentabromodifenilo</i></p>	<p><i>Pentabromo fenol</i> <i>Anhídrido tetrabromoftálico</i> <i>Anhídrido tetracloroftálico</i> <i>Alcohol tetrabromoneopentílico</i> <i>Fosfato de tris(betacloroetilo)</i> <i>Fosfato de tris(dicloropropilo)</i> <i>Fosfato de tris(cloropropilo)</i> <i>Fosfato de trixenilo</i></p>	<p><i>Hidrato de aluminio</i> <i>Hidróxido de aluminio</i> <i>Polifosfato de amonio</i> <i>Bromuro de amonio</i> <i>Metaborato de bario</i> <i>Fosfato de t-butilfenil difenilo</i> <i>Fosfato de cresil difenilo</i> <i>Fosfonato de o,o-dietil-1-N,N-bis(2-hidroxietil) aminometilo</i> <i>Fosfonato de di (polioxietilen) hidroximetilo</i> <i>Hidróxido de magnesio</i></p>	<p><i>Óxido de molibdeno</i> <i>Titanato de neoalcoxitri (dioctil) fosfato</i> <i>Fosfato de octil difenilo</i> <i>Fósforo rojo (encapsulado)</i> <i>Antimoniato de sodio</i> <i>Fosfato de tricresilo</i> <i>Fosfato de trietilo</i> <i>Fosfato de triisopropilfenilo</i> <i>Borato de zinc</i></p>
Gomas y elastómeros termoplásticos	<p><i>Se utilizan muchos tipos de retardantes de llama</i></p>		<p><i>Hidróxido de magnesio</i></p>	<p><i>Fósforo rojo (encapsulado)</i></p>

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

En textiles:

Fibra	Protector de llama
Algodón	<i>Organosfósforo, compuestos monómero que contienen nitrógeno o grupos reactivos Sistemas antimonio-orgánico-halógeno</i>
Lana	<i>Complejos de zirconio hexafluorados</i>
Viscosa	<i>Organofósforo, nitrógeno (azufre, complejos de ácidos polisilícicos)</i>
Poliéster	<i>Organofósforo</i>
Modacrílico	<i>Compuestos halogenados (35-50% en peso)</i>
Polipropileno	<i>Compuestos halo-orgánicos normalmente bromo derivados</i>
Polihaloalquenos	<i>Cloruro de polivinilo</i>
Poliaramidas	<i>Poli(m-fenilen ftalimida) Poli(p-fenilen terftalimida)</i>
Poli(aramida-arimida)	
Polibenzamidazole	
Acrílico carbonado	

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

Sistemas intumescentes → menor inflamabilidad y dispersión del fuego

Los sistemas intumescentes están formados por tres componentes:

Fuente de ácido
Fuente de carbono
Fuente de gas

¿Cómo funcionan?

El ácido actúa de catalizador cuando la fuente de carbono se descompone con la formación de gas, por ejemplo vapor de agua.

El ácido también puede ser un compuesto que forme ácido en contacto con el calor.

La fuente de carbono consiste en polioles que pierden sus hidrógenos y forman “espuma de carbono” de densidad y grosor apropiados para evitar que el fuego se siga dispersando.

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

Fuente deshidratante			Temperatura de descomposición (°C)
<p>Fuente de ácido: Sustancia carbonada que emite el ácido para la esterificación de los grupos hidroxilo</p>	<p>Fosfato de monoamonio Fosfato de diamonio Polifosfato de amonio Fosfato de melamina Fosfato de guanil urea Fosfato de urea Sulfato de diamonio Tetraborato de amonio</p>	<p>$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_2$ $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_4\text{O} \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>147 87 y 147 215 300 130</p>
<p>Fuente de carbono: Sustancias carbonizantes Contienen grandes cantidades de carbono Su descomposición térmica depende de su esqueleto carbonado</p>	<p><u>Polioles</u> Eritritol Pentaeritritol Dímero de pentaeritritol Trímero de pentaeritritol Arabitol Sorbitol Inositol <u>Polihidrofenoles</u> Resorcinol <u>Azúcares</u> Glucosa Maltosa Arabinosa Dextrina Almidón</p>	<p>$\text{C}_4\text{H}_6(\text{OH})_4$ $\text{C}_5\text{H}_8(\text{OH})_4$ $\text{C}_{10}\text{H}_{16}(\text{OH})_6$ $\text{C}_{15}\text{H}_{24}(\text{OH})_8$ $\text{C}_5\text{H}_7(\text{OH})_5$ $\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_6$ $\text{C}_6\text{H}_6(\text{OH})_6$ $\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_2$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ $\text{C}_5\text{H}_6\text{C}_4$ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$</p>	
<p>Fuente de gas: Producen gases no combustibles en su descomposición térmica</p>	<p>Dicianimida Melamina Guanidina Glicina Urea Cloroparafinas</p>	<p>$\text{NH}_3, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_3, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_3, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_3, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_3, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{HCl}, \text{CO}_2, \cdot \text{H}_2\text{O}$</p>	<p>300 160 233 130 160-350</p>

4. Plásticos y Textiles: Alternativas a PBDEs

TIPO DE TEJIDO	RETARDANTE DE LLAMA
Celulosa	<i>Dimetilfosfono(N-metilol)propionamida</i> <i>Sal de amonio de tetrakis(hidroximetil)fosfonio urea</i>
Lana	<i>Sales de zirconio hexafluoradas</i>
Poliuretano (PUR)	<i>Tris(1-cloro-2-propil)fosfato</i> <i>Tris(1,3-dicloro-2-propil)fosfato</i> <i>Tris(2-cloroetil)fosfato</i>
Poliamida	<i>Aditivos de fósforo (añadidos en la formación de la poliamida)</i>
Poliiolefinas	
Materiales resistentes a la llama	<i>Polihaloalquenos (PVC), Poliaramidas</i>

Los mayores desarrollos se han llevado a cabo en:

- Parafinas cloradas, óxido de antimonio;
- Poli(éster)es que contienen cloro;
- Retardantes de llama tipo filtro;
- Métodos relativos al **índice de oxígeno** para evaluar la inflamabilidad del polímero;
- Sistemas retardantes de llama intumescentes;
- Polímeros intrínsecamente retardantes de llama.

5. Otros Compuestos Alternativos a los PBDEs

Existen algunos retardantes de llama ya comercializados, basados en los compuestos que se han desarrollado:

- Basados en fosfatos: Disflamoll (TP y TKP), Fyrol, Fyroflex, Phosfek, Lindol y Phos-Chek.
- Basados en minerales y nitrógeno: FR-20 y FR6120.
- Trihidróxido de aluminio ATH.
- Hidróxido de magnesio MDH.
- Polifosfato amónico APP.

A iniciativa privada, se ha desarrollado una “gama verde” que incluye: Stanyl, Arnitel, Akulon, Xantar.

Enlaces

Convenio de Estocolmo



<http://chm.pops.int>

Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes



<http://www.cnrkop.es>