

CINVESTAV-IPN

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
DEPTO. DE BIOTECNOLOGIA Y BIOINGENIERIA

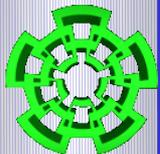
www.cinvestav.mx

CINVESTAV-IPN

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS

Dra. Refugio Rodríguez Vázquez

Email: rrodrig@cinvestav.mx



PRODUCCIÓN DE DESECHOS TÓXICOS

400, 000 ton/día

300,000 act. Minera extractiva y de fundición no ferrosos

70, 500 Ind. procesos químicos

29,500 Residuos agroindustriales

14, 500 Residuos industriales peligrosos



1988, 13,000 intoxicaciones
y 700 defunciones

Conferencia de la ONU sobre Medio

Ambiente y Desarrollo 1989-1991 (SEDUE, 1992)

RESIDUOS PELIGROSOS

Son todos aquellos residuos que posean alguna de las siguientes características (**CRETIB**)

(NOM-052-SEMARNAT-1993 (antes NOM-052-ECOL-1993))

- Corrosividad
- Explosividad
- Reactividad
- Toxicidad
- Inflamabilidad
- Biológico Infecciosos

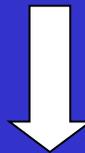
PRODUCTOS DEL PETRÓLEO QUE MÁS SE DERRAMAN

- **Petróleo crudo**
- **Gasolina**
- **Diesel**
- **Combustoleo**

ACTIVIDADES QUE ORIGINAN LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS



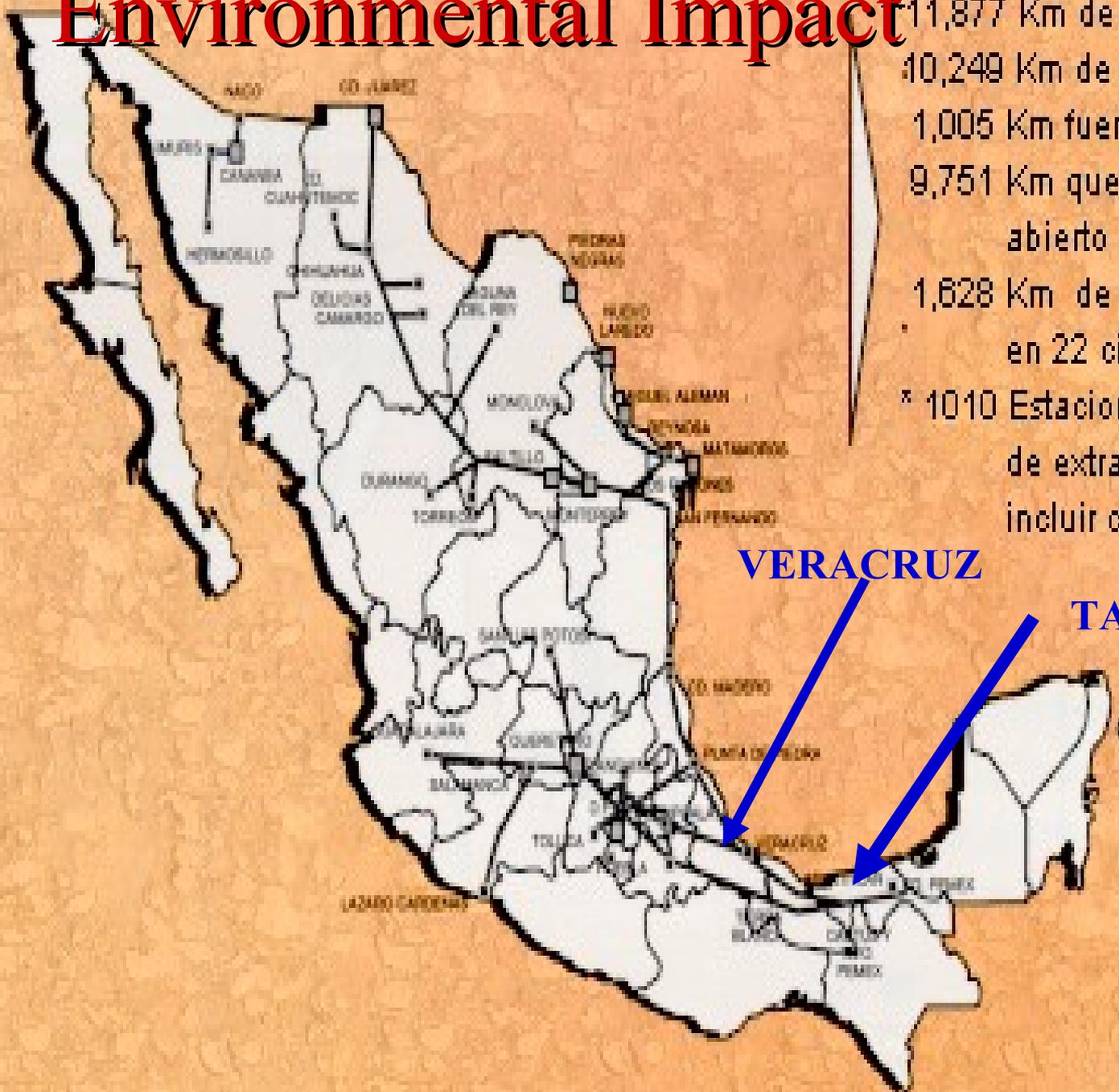
Principales zonas contaminadas en México



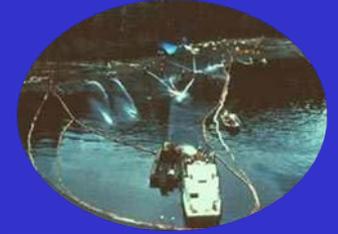
Tabasco y Veracruz

Environmental Impact

- 11,877 Km de ductos totales
- 10,249 Km de ductos de transporte
- 1,005 Km fuera de operación
- 9,751 Km que se incorporan al acceso abierto
- 1,628 Km de ductos de distribución en 22 ciudades
- * 1010 Estaciones de medición en puntos de extracción al cierre de 1995, sin incluir casetas propias



CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS



- ◆ Transporte de combustibles
- ◆ Tomas clandestinas
- ◆ Derrames accidentales
- ◆ Residuos generados durante procesos de refinamiento



PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN POR DUCTOS

- ◆ 10, 000 L de diesel Minatitlán-México, 120 m² (1997)
- ◆ 366 Tomas clandestinas/gasolina (1997)
- ◆ 5, 000 L diesel/drenaje, Guadalajara (1998)
- ◆ 100, 000 L gasolina, Poza Rica (1998)
- ◆ 130 Tomas/mes Minatitlán/Puebla (1999)
- ◆ PEMEX: 1224 tomas (1999)

FRACCIONES DEL PETROLEO:

Saturados

Aromáticos

Resinas

Asfaltenos

CLASIFICACIÓN DE HIDROCARBUROS

Hydrocarburos del petróleo

BTEX

Compuestos aromáticos

Compuestos aromáticos
heterocíclicos

Compuestos alifáticos halogenados

Tricloroetileno

1,1, dicloroetano

Tetracloroetileno

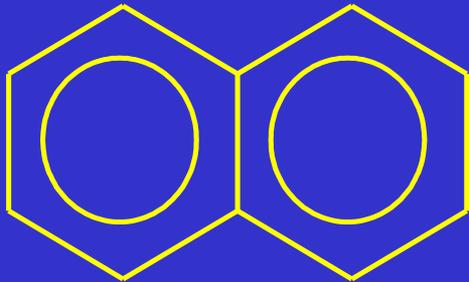
Residuos industriales

PAHs

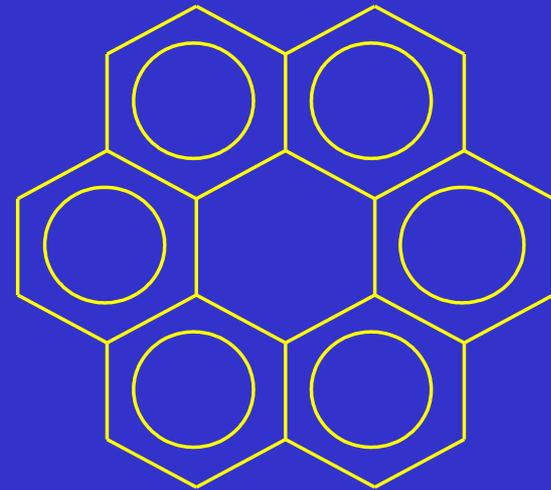
Pentaclorofenol

Bifenilos policlorados

HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS (HPAs)

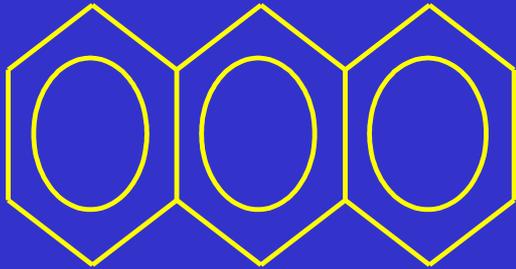


Naftaleno



Coroneno

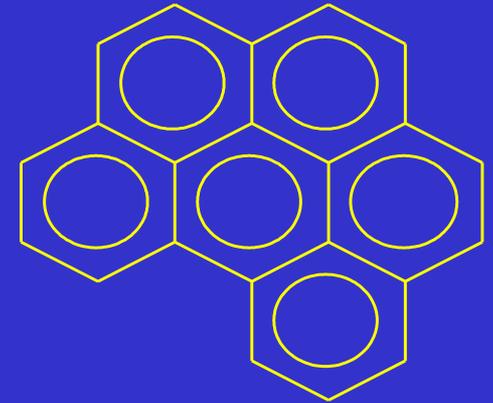
ESTRUCTURAS DE HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS



Antraceno

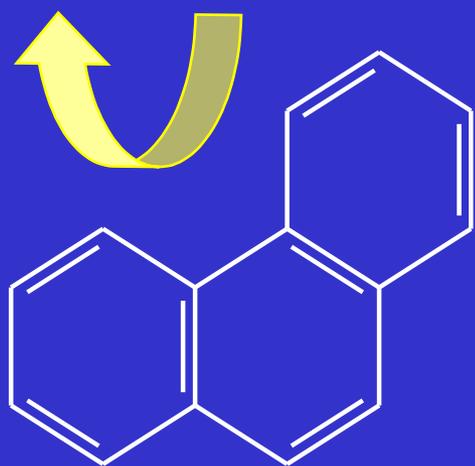


Fenantreno



Benzo(g,h,i)
Perileno

REGION “BAHÍA”



FENANTRENO



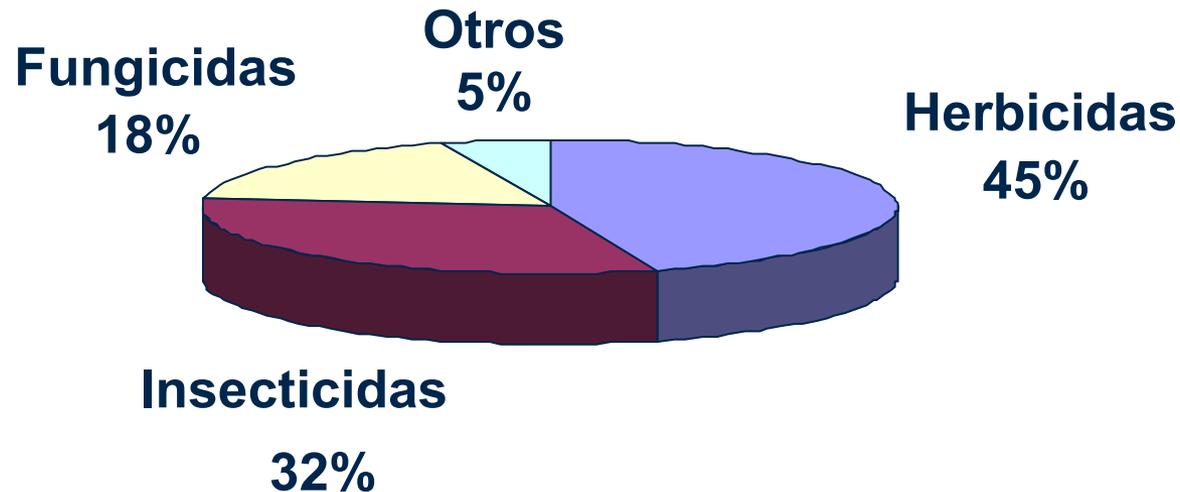
BENZO(a)PIRENO

CONTENIDO DE HPA_s EN CRUDOS

<i>COMPUESTO</i>	<i>HULLA (ppm)</i>	<i>PETROLEO (ppm)</i>
Benzo(a)Pireno	< 500/ <1,200	0.1 – 4
Benzo(a)Antraceno	Trazas/ 2,200	1.0 – 7.0
Fenantreno	12,000/ 20,400	> 129 – 322
Fluoreno	5,300/9,900	204 – 310
Antraceno	4,100	204 - 310

CONSUMO DE PLAGUICIDAS EN MÉXICO

60,000 ton de plaguicidas al año (INEGI, 1991)



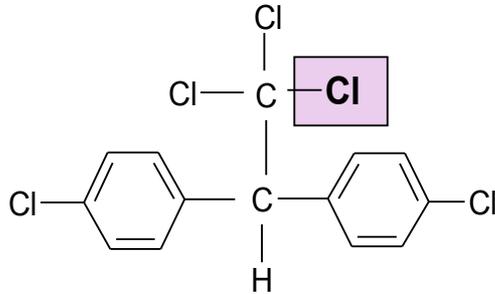
Sólo el 0.1 % del producto aplicado alcanza las plagas (OMS, 2001)

PLAGUICIDAS PERMITIDOS EN MÉXICO

- **68** plaguicidas que causan **cáncer**
- **21** que alteran el desarrollo embrionario y provocan **daños reproductivos**
- **33** que funcionan como disruptores endocrinos (afectación a los sistemas glandulares como la **regulación de hormonas**)
- **21** que debilitan el sistema **inmunológico**
- **50** que producen problemas de **fertilidad masculina**.

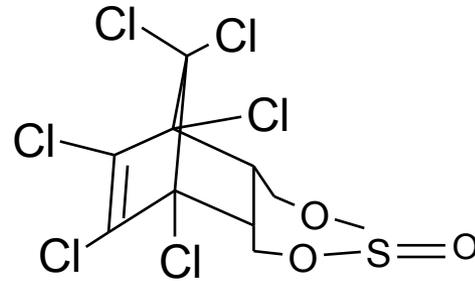
TIPOS DE PLAGUICIDAS

• Halogenados



DDT

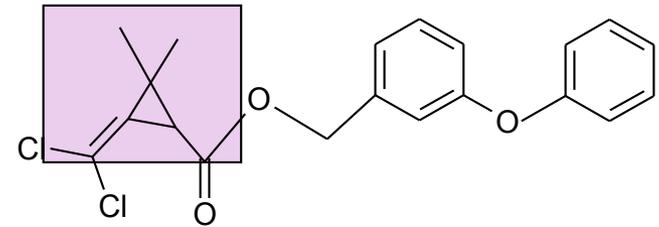
$t_{1/2} > 10$ años



ENDOSULFAN

$t_{1/2} = 1-5$ meses

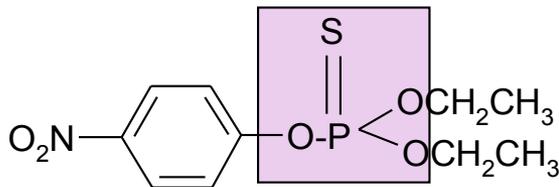
• Piretroides



PERMETRINA

$t_{1/2} = 1-2$ meses

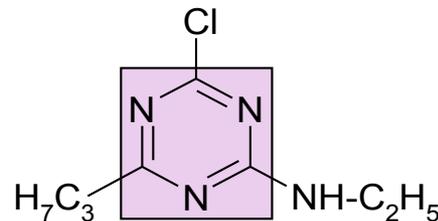
• Organofosforado



PARATIÓN

$t_{1/2} = 8$ sem

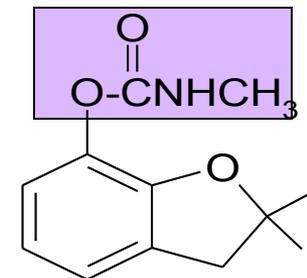
• Triazina



ATRAZINA

$t_{1/2} = 50$ días

• Carbamato



CARBOFURAN

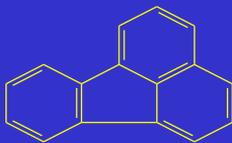
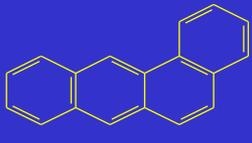
$t_{1/2} = 8-16$ sem

FUNGICIDA CREOSOTA

Compuesto	Creosota (ppm)
Antraceno	334
Benzo(a)pireno	82
Benzo(a)fluoranteno	140
Criseno	481
Fluoreno	1792
Fenantreno	4434
Pireno	1016

ESTRUCTURAS QUÍMICAS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y TOXICOLÓGICAS DE HAP

R
E
C
A
L
C
I
T
R
A
N
C
I
A

	P.M.	Sol. (mg/L)	Genotoxicidad
	202.3	0.26	Débil
	202.3	0.14	±Ames
	228.3	.002	+Ames +Carcinógeno
	252.3	0.003	+Ames +Carcinógeno

FACTOR EQUIVALENTE DE TOXICIDAD

COMPUESTO

FACTOR DE TOXICIDAD

Benzo(a)pireno

1

Benzo(a)antraceno

0.1

Antraceno

0.01

Criseno

0.01

Acenafteno

0.01

Pireno

0.001

Fenantreno

0.001

PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS

- Los compuestos organoclorados no son solubles en agua
- Son solubles en disolventes polares
- Casi todos son sustancias tóxicas
- Son muy estables en el ambiente
- Son bioacumulables

Ficha de Riesgo y Medidas de Protección

RIESGO

No saber que los plaguicidas pueden dañar tu salud

PROTECCIÓN

Saber que los plaguicidas son sustancias tóxicas utilizadas para eliminar plagas, insectos, hongos o mala hierba, por lo que al mezclarlos o aplicarlos debes protegerte

INFORMACIÓN EN CASO DE INTOXICACIÓN POR PLAGUICIDAS
Servicio de Información Toxicológica, SINTOX
01800 0092800 Lada sin costo

Por tu Salud

CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN MÉXICO

Plaguicida	Matriz	Ubicación	Referencia
DDT (0.186 mg/Kg) en 1996 (0.067 mg/Kg) en 2001	Leche de vaca	Veracruz	Waliszewski, et al, 2001
p,p DDT (0.1022 mg/Kg) caña (0.0843 mg/Kg) frijol (0.0843 mg/Kg) maíz (0.0843 mg/Kg) arroz	Suelo agrícola	Edo. de México	Barrientos, 2004
β -BHC (2057 - 59016 $\mu\text{g/l}$) promedio (17.86 $\mu\text{g/l}$)	Agua	Cd. Juárez, Chih	Carrillo y Piña,
DDT (0.02 mg/Kg) HCB (0.0042 mg/Kg) DDT (0.025 mg/Kg) HCB (0.016 mg/Kg)	Suelo Suelo	Carmen, Tlax Cuapixtla, Tlax	Proyecto Tlaxcala TLAX-2003- C02-12416

CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN MÉXICO

Plaguicida	Matriz	Ubicación	Referencia
DDE (24.82 mg/Kg) 1992 (1.74 mg/Kg) en 2001	Tejido adiposo humano Suelo	Veracruz	Waliszewski, et al, 2002
DDE (21.8 ng/ml) DDT (2.93 ng/ml)	Leche materna		López, C., 2001
Aldrin (0.0247 mg/l) Dieldrin (0.2797 mg/l) Endrin (0.1770 mg/l) Metilparation (0.00021 mg/l) Malation (0.00013 mg/l)	Agua superficial	Presa Ignacio Ramírez en el Edo. de México	Favari, et al, 2002
DDT (3.32 a 8.23 mg/Kg) DDT (1.53 a 2.56 mg/Kg) DDT (1.05 a 3.65 mg/Kg)	Suelo	Chiapas Oaxaca Huasteca	Yáñez, et al, 2002
Organoclorados (DDT, DDD y HCB), Azufre, organofosforados	Suelo	Tekchem Salamanca, Guanajuato	PROFEPA, 2005

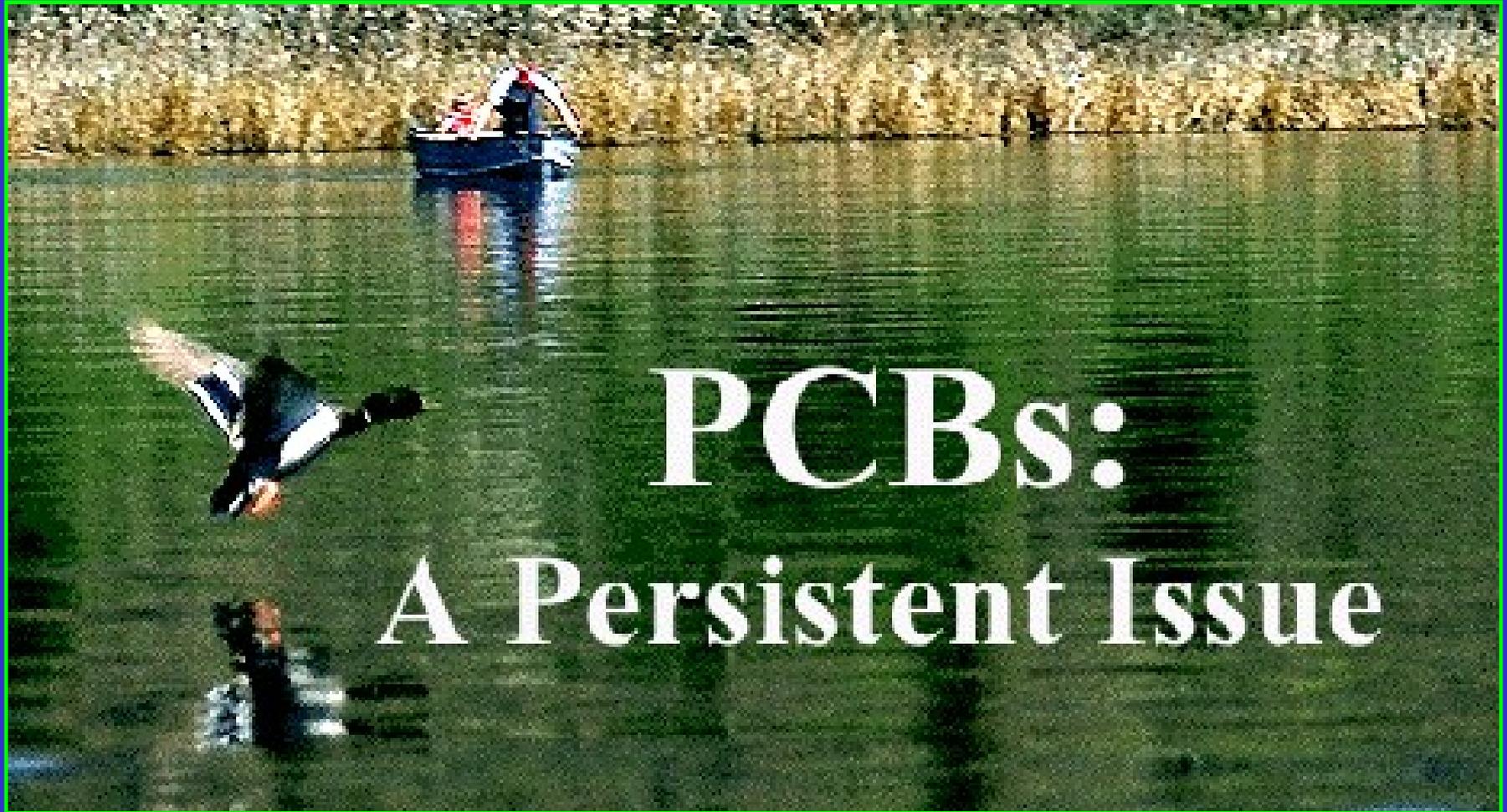
CONCENTRACIÓN DE HPAs EN SUELOS Y SUBSUELOS CONTAMINADOS CON DIESEL

<i>Hidrocarburo Poliaromático</i>	<i>Terminal de Distribución de Hermosillo Sonora (ppb)</i>	<i>Terminal de Distribución de Salina Cruz Oaxaca (ppb)</i>
Antraceno	47.8	23.1
Benzo(pk)Fluoranteno	281.7	13.9
Fenantreno	623.8	22.1
Fluoranteno	281.7	8.6
Pireno	406.7	10.1

Fuente: Informes finales grupo
de Remediación (1999)

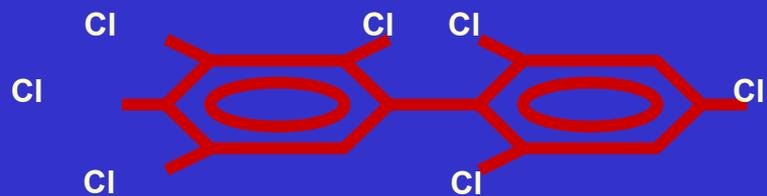
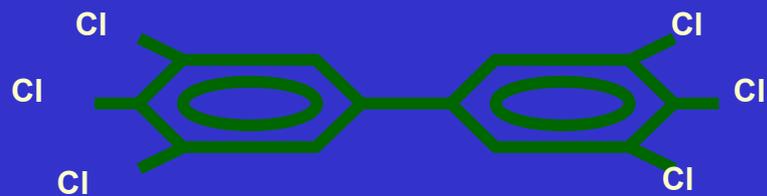
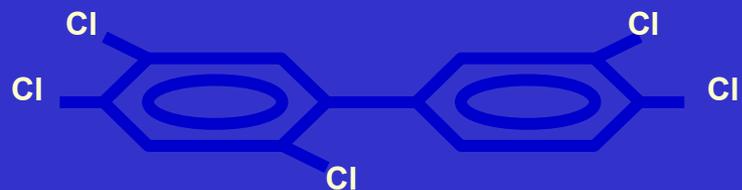
CONCENTRACIÓN DE HPAs EN SUELOS CONTAMINADOS (EUA)

Compuesto	Diesel	Creosota
	(ppm)	
Antraceno	156	334
Benzo(a)pireno	92	82
Benzo(a)fluoranteno	260	140
Criseno	345	481
Fluoreno	225	1792
Fenantreno	379	4434
Pireno	491	1016



PCBs: A Persistent Issue

BIFENILOS POLICLORADOS

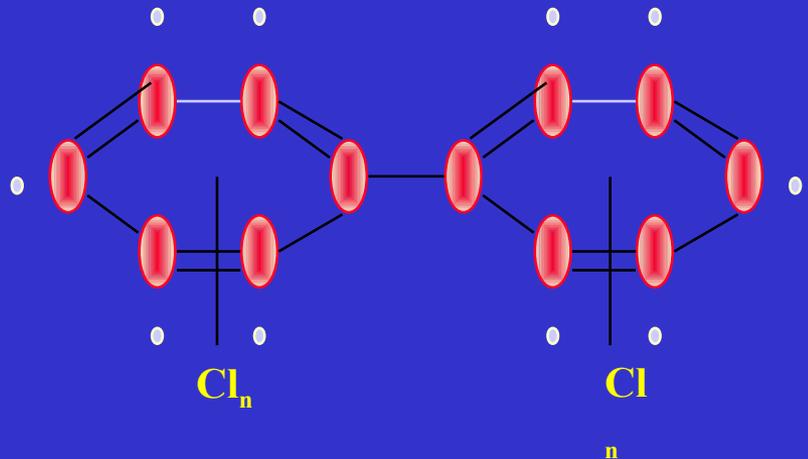


ISÓMEROS DE BPCs

Sustitución con cloro	Número de isómeros posibles
Mono-	3
Di-	12
Tri-	24
Tetra-	42
Penta-	46
Hexa-	42
Hepta-	24
Octa-	12
Nona-	3
Deca-	1
Total	209

BIFENILOS CLORADOS (BPC's)

- ✚ Producidos por primera vez por la Cia. Monsanto en 1929
- ✚ Reemplazaron a los aceites minerales
- ✚ Producidos por síntesis química por cloración directa del anillo bifenílico
- ✚ De los 209 isómeros de BPCs, el 50% se han encontrado en el medio ambiente



CARACTERÍSTICAS DE LOS BPC's

Color amarillo claro y oscuro

Densidad alta

Alto punto de flama (170 - 380 °C)

**Baja conductividad eléctrica y alta
resistencia al rompimiento térmico**

Insolubles en agua

**Alta estabilidad química bajo condiciones
normales**

Inertes

BPC's, y sus derivados son los compuestos tóxicos más abundantes

Los isómeros altamente clorados son los más recalcitrantes

En Japón se presentan las primeras evidencias de toxicidad en 1968

En 1970, E.U. y Suecia prohíben el uso de los BPCs

USOS DE LOS BPC's

- ❖ Transformadores
- ❖ Capacitores
- ❖ Bombas de vacío



PRODUCCIÓN DE BPC's

1980's

Estados Unidos	647 700
Alemania	130 800
Francia	101 600
Reino Unido	66 800
Japón	59 300
España	25 100
Italia	23 500
	1 054 800 Ton.



CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR BIFENILOS CLORADOS

- ◇ Deposición de la materia particulada presente en la atmósfera
- ◇ Derrames directos de los fluidos
- ◇ Disposición inadecuada de residuos contaminados
- ◇ Explosión de equipo en mal estado



CONTAMINACIÓN POR BIFENILOS CLORADOS



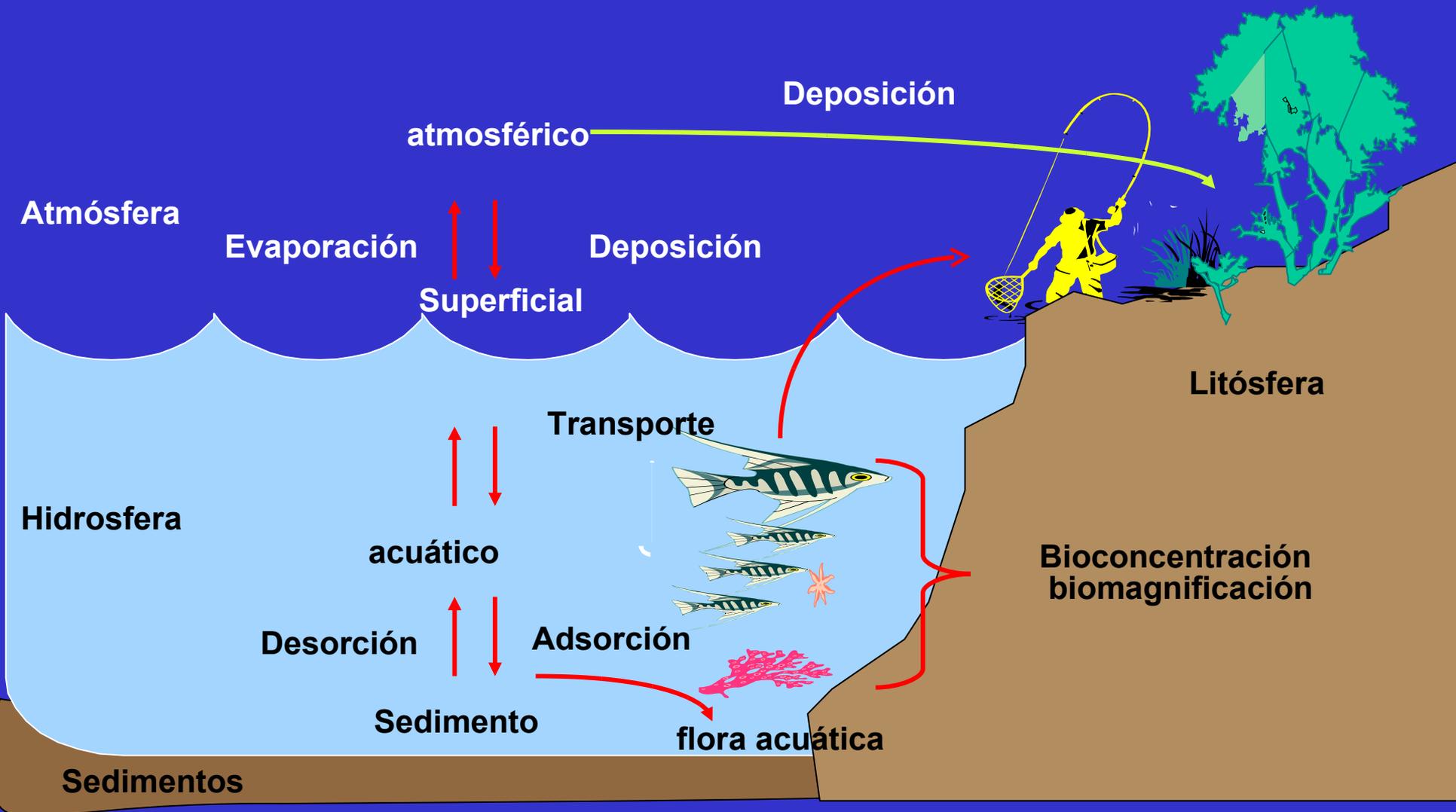
Environmental Health Perspectives
Vol. 60, pp. 211-214, 1985

Congenital PCB Poisoning: A Reevaluation

by Robert W. Miller*

A review of the literature reveals a need to clarify the pathologic physiology of congenital polychlorinated biphenyl (PCB) poisoning, which is characterized by intrauterine growth retardation, brown staining of the skin and mucous membranes, as in Addison's disease, natal teeth, widely open fontanelles and sagittal suture and apparent overgrowth of the gingiva. The skull abnormalities may represent irregular calcification, with natal teeth appearing because the bone of the mandible is penetrated more easily than usual. Some fetuses were poisoned at the time the mothers ingested the oil; others were affected in the subsequent years from residual contamination in the mothers' bodies. The misadventure in Japan was repeated in Taiwan in 1979. The seven congenital cases in Taiwan reported thus far seem to differ from those in Japan. In Taiwan the noses were somewhat black, two of the infants did not have low birth weight and the

BIOMAGNIFICACIÓN DE COMPUESTOS TÓXICOS EN EL AMBIENTE



TECNOLOGÍAS DE LIMPIEZA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS

TRATAMIENTO FÍSICO

Incineración

Desorción Térmica

Lavado de suelos

Extracción con disolventes

TRATAMIENTO QUÍMICO

KOH

TRATAMIENTO BIOLÓGICO (BIORREMEDIACIÓN)

BIORREMEDIACIÓN



Hongos



Bacterias



Lombrices

Especies vegetales

BIORREMEDIACIÓN

In situ

Ex situ

Ingeniería

Intrínscica

Biorreactores
Cultivo Sólido
(biopilas)

Bioestimulación ▶

Bioaumentación ▶

Semisólidos

sólidos

Microorganismos

Otros
(T, pH,)

Oxígeno
Nutrientes:
C, N, P, K

TECNOLOGÍAS DE BIORREMEDIACIÓN



In- situ

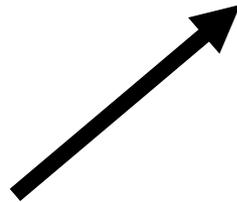
Bioventeo 

Atenuación natural

***Adición de
surfactantes***

Fitorremediación 

TECNOLOGÍAS DE BIORREMEDIACIÓN



Ex-situ

- Biolabranza ▶
- Biorreactores
- Cultivo sólido ▶
(biopilas)