

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PANORAMA GENERAL DEL PROYECTO

Siguiendo las recomendaciones del Foro Intergubernamental sobre Seguridad en materia de Sustancias Químicas, el Consejo de Administración del PNUMA decidió en febrero de 1997 (Decisión 19/13 C) que debía emprenderse una acción inmediata a escala internacional para proteger la salud humana y el medio ambiente adoptando medidas para reducir o eliminar las emisiones y descargas de un primer grupo de doce contaminantes orgánicos persistentes (COP). Para ello se estableció un Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) cuyo mandato fue elaborar un instrumento internacional vinculante para emprender una acción internacional contra ciertos contaminantes orgánicos persistentes. Esta serie de negociaciones culminó en 2001 con la adopción del Convenio de Estocolmo. Las primeras doce sustancias que entran en las categorías prescritas y que han sido seleccionadas en el Convenio de Estocolmo son: aldrina, endrina, dieldrina, clordano, DDT, toxafeno, mirex, heptacloro, hexaclorobenceno, PCB, dioxinas y furanos. Además de estas doce, existen muchas otras sustancias que corresponden a los criterios antes mencionados y cuyas fuentes, concentraciones y efectos en el medio ambiente deben ser evaluados.

Las sustancias tóxicas persistentes pueden ser sustancias fabricadas para uso en diversos sectores industriales, plaguicidas o subproductos de procesos industriales y de la combustión. Hasta ahora, su evaluación científica se ha concentrado principalmente en efectos específicos en la salud y el medio ambiente a nivel local o regional, sobre todo en puntos de mayor intensidad como la región de los Grandes Lagos de América del Norte o el Mar Báltico.

1.1.1. Objetivos

Se precisa una evaluación científica de la naturaleza y magnitud de los riesgos que las sustancias tóxicas persistentes imponen al medio ambiente y sus recursos, evaluación que orientará a la comunidad internacional en cuanto a prioridades para futuras actividades de rehabilitación y prevención. La evaluación permitirá determinar las prioridades de intervención y, mediante la aplicación de un análisis de rastreo del origen, tratará de señalar las medidas adecuadas para controlar, reducir o eliminar las emisiones de STP a escala nacional, regional o mundial.

El objetivo del proyecto es efectuar una medición de la índole y gravedad relativa del daño y los riesgos que las STP representan a nivel nacional, regional y, por último, mundial. Esta medición proporcionará al FMAM un fundamento científico para establecer prioridades de acción frente a los problemas ambientales relacionados con STP y para determinar hasta qué punto difieren las prioridades de cada región.

1.1.2. Resultados

Para la evaluación, el proyecto se basa en la recopilación e interpretación de los datos e información existentes. No se realizará ninguna investigación para generar datos primarios, pero se efectuarán proyecciones para cubrir los vacíos de datos/información y pronosticar riesgos para el medio ambiente. Las actividades propuestas persiguen los siguiente objetivos:

- Determinación de principales fuentes de STP a nivel regional
- Impacto de las STP en el medio ambiente y la salud humana
- Valoración del transporte transfronterizo de las STP
- Estudio del origen de la problemática y de la capacidad de gestión de las STP a escala regional
- Definición de las prioridades regionales sobre problemas ambientales relacionadas con las STP
- Identificación de aspectos prioritarios relativos a las STP a nivel mundial.

El resultado del proyecto será una evaluación fundamentada de los riesgos que las sustancias tóxicas persistentes imponen al medio ambiente y la salud humana. Las actividades que este proyecto emprenderá comprenden una evaluación de las fuentes de sustancias tóxicas persistentes, sus niveles en el medio

ambiente y consiguiente impacto en la biota y seres humanos, sus formas de transporte a distintas distancias, las alternativas existentes para su uso y opciones de rehabilitación, así como los obstáculos que impiden su debida gestión.

1.2. MÉTODOS

1.2.1. Divisiones regionales

Para efectos de este proyecto, se dividió el mapa del mundo en 12 regiones: Ártico, América del Norte, Europa, Mediterráneo, África Subsahariana, Océano Índico, Asia Central y Nororiental (Noroeste del Pacífico), Asia Suroriental y Sur del Pacífico, Islas del Pacífico, América Central y Caribe, Sudamérica Oriental y Occidental, y Antártida.

1.2.2. Dirección del proyecto

El proyecto está a cargo de un Director de Proyecto, con domicilio en la División de Productos Químicos del PNUMA, en Ginebra, Suiza. Un Grupo Directivo, integrado por representantes de organizaciones gubernamentales afines, así como del sector industrial y no gubernamental, sigue el avance del proyecto y proporciona orientación al director. Cada región está bajo control de un Coordinador Regional, asistido por un Equipo Regional que cuenta como promedio con cuatro miembros. El Coordinador Regional y el Equipo Regional están a cargo de la puesta en marcha del proyecto, la recopilación de datos nacionales y la organización de una serie de talleres técnicos y de establecimiento de prioridades para el análisis de datos regionales sobre STP. Además de los doce COP del Convenio de Estocolmo, el Equipo Regional seleccionó otras sustancias para evaluación en su región, y esta lista quedó sujeta a revisión en los diversos talleres que se organizaron durante el proceso de evaluación. Cada Equipo Regional elabora un Informe Regional.

1.2.3. Datos

Se compilaron datos sobre fuentes, concentraciones ambientales, y efectos ecológicos y en seres humanos de todas las fuentes disponibles. Se utilizaron las presentaciones de expertos regionales en los talleres técnicos para la elaboración de los informes regionales. En los talleres sobre prioridades, a los que asistieron representantes de cada país, se definieron las prioridades sobre STP con base en los riesgos y daños en cada Región. La información y las conclusiones presentadas en los doce informes regionales servirán para elaborar un informe global sobre la situación de las STP en el medio ambiente.

El proyecto no pretende generar datos nuevos sino basarse en los datos existentes para establecer prioridades. Para la recopilación de datos y posterior evaluación se estableció una amplia red con todos los sectores de la sociedad. Se logró una cooperación estrecha con otros organismos intergubernamentales como UNECE, OMS, FAO, PNUD, y el Banco Mundial. La mayoría de ellos tiene representantes en el Grupo Directivo, que sigue el avance del proyecto y revisa su puesta en marcha. Se recibió información de los centros de coordinación del PNUMA, centros de coordinación sobre COP del PNUMA, centros de coordinación nacionales seleccionados por los Equipos Regionales, el sector industrial, dependencias gubernamentales, sector de investigación científica y ONG.

1.2.4. Financiamiento

El proyecto tiene un costo de aproximadamente 4.2 millones de dólares, aportados principalmente por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), con el patrocinio de países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, Suecia y Suiza. El proyecto se elaboró entre septiembre de 2000 y abril de 2003 a fin de poder presentar los informes a la primera reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo prevista para 2003.

1.3. ÁMBITO DE LA EVALUACIÓN REGIONAL

1.3.1. Introducción

Para efectos del proyecto, la Región América Central y el Caribe, o Región X, quedó constituida por las Antillas Mayores, las islas del este y del sur de las Antillas Menores, las Bahamas, Belice, Colombia, Costa

Rica, El Salvador, Guatemala, la Guyana, Honduras, Nicaragua, Panamá, Surinam y Venezuela. Puerto Rico y Granada no se incluyeron en esta Región.

La Región está constituida por el largo istmo que se estrecha formando un puente entre América del Norte y América del Sur y comprende los países de Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, así como las Antillas Mayores y las Antillas Menores, que dibujan un arco desde la región próxima al sur de la Florida hasta la costa de Venezuela y forman una escollera de 3,200 km de largo frente al Océano Atlántico, separándolo del mar Caribe. También forman parte de ella cuatro de los países más septentrionales de América del Sur, que tienen influencia del Caribe (Colombia, Venezuela, la Guyana y Surinam). La región comprende 23 países, con un área de 3,190,000 km² y una población de 136,297,000 habitantes (Microsoft® Encarta® Online Encyclopedia 2001).

1.3.2. Ámbito de la evaluación en América Central

Ésta es la primera evaluación general sobre sustancias tóxicas persistentes en América Central y el Caribe. La elaboración del presente informe se basó en datos recogidos en publicaciones, informes nacionales preparados por expertos regionales, presentación y discusión de estos informes en talleres técnicos y revisión y discusión finales durante una reunión regional para el establecimiento de prioridades que tuvo lugar en Heredia, Costa Rica, del 30 de octubre al 1 de noviembre de 2002.

1.3.3. Vínculos y colaboración interregionales

Los autores agradecen a la Región IV haberles proporcionado el conjunto de definiciones aceptadas de los productos químicos. Los borradores de las regiones II y III del PNUMA constituyeron también una orientación útil.

1.4. CLIMA

En general, la Región X tiene un clima tropical. Todos los países, a excepción de la parte septentrional de las Bahamas, se encuentran entre el Trópico de Cáncer y el Ecuador. Prácticamente no hay cambio significativo de temperatura durante el año, aunque en las regiones más altas (por encima de los 900 m. o 3,000 pies) el clima se considera templado. En las regiones bajas (a nivel del mar y hasta los 900 m. o 3,000 pies), la temperatura oscila entre 22° C y 29° C en enero, y entre 23 ° C y 34° C en julio. La temperatura en las regiones montañosas desciende a temperaturas promedio de 14° C- 23° C, y es inferior a los 0° C en las cimas más elevadas (más de 3,000 m. o 10,000 pies) en la cordillera de Los Andes, en Colombia y Venezuela. En las regiones montañosas de Guatemala la temperatura puede descender a -10° C.

Las estaciones de lluvia y seca se suceden. Según la posición del país en relación con los vientos alisios, su localización y topografía, se presentan dos patrones: uno con dos estaciones de lluvia y dos estaciones secas, cada una de tres meses en promedio; el otro, con una estación de lluvias larga y una estación seca relativamente corta. Las precipitaciones varían según ubicación y topografía. En América Central, la zona del Atlántico es considerablemente más húmeda que la región del Pacífico, y las precipitaciones pluviales anuales alcanzan los 6,500 mm. (250 pulgadas) en algunas áreas. A excepción de Trinidad, las islas del sur de las Antillas Menores están protegidas del aire húmedo del Atlántico por las islas del este de las Antillas Menores y tienen clima cálido y seco. El calor solar está moderado por las temperaturas frías del Océano Atlántico y por los alisios que soplan del nordeste durante todo el año. Cuando los vientos son más fuertes, entre enero y abril, traen temperaturas más frías y chubascos desde zonas apartadas del Atlántico. Cerca del océano, en el norte de América del Sur, el clima es más seco, excepto en Surinam, cuya parte meridional recibe más precipitaciones. La zona colombiana del Pacífico es más húmeda que la del Atlántico debido a la barrera formada por la cordillera de Los Andes.

1.5. POBLACIÓN

Esta Región está compuesta en su gran mayoría por población “mestiza” (mezclas raciales, por lo regular de españoles e indígenas), aunque la composición étnica de las poblaciones nacionales varía enormemente. Las poblaciones actuales son resultado de migraciones europeas (españolas, holandesas, inglesas, francesas), esclavos traídos de África, asiáticos traídos con contratos forzados (de China, India, Indonesia), mestizos,

mulatos (mezcla de españoles y africanos) y, en menor porcentaje, indígenas que sobrevivieron al periodo colonial. La población predominante de los países de América Central y del Sur es mestiza, pero la de las islas del Caribe es principalmente de ascendencia africana. Existen casos excepcionales, como Belice, en los que más de la mitad de la población tiene ascendencia africana negra, y la Guyana y Surinam, cuyo grupo étnico más importante es de origen indio.

1.6. ECONOMÍA

Durante mucho tiempo, la agricultura fue la base de la economía de todos los países de la Región. En Venezuela, la Guyana y Surinam, la minería adquirió una importancia considerable. Desde los años 1970, el turismo ha sido la principal actividad económica en algunas de las islas caribeñas. Con todo, la mayoría de los países aún depende mucho de la agricultura. A partir de la segunda mitad del siglo XX varios gobiernos emprendieron esfuerzos para diversificar la producción y no tener que depender de uno o de unos pocos productos. Durante las últimas décadas, varias industrias manufactureras han florecido en la Región.

Agricultura. Desde los primeros años de la colonización la Región fue dejando de ser bosque para convertirse gradualmente en tierra agrícola. La mayoría de los productos de exportación que se cultivan hoy en día en grandes plantaciones, como caña de azúcar, café, plátano y cítricos, no son indígenas. Las plantas indígenas, como camote, yuca o mandioca, frijol, maíz y otros se cultivan para consumo local, en pequeñas parcelas familiares que se encuentran en los llanos y en las laderas de cerros, donde recibieron tierras los esclavos después de la abolición.

Ni la silvicultura ni la pesca constituyen una actividad importante en la Región, salvo en Venezuela, Jamaica, la Guyana y Surinam, donde el camarón es un producto importante. En varios países, la leña es aún una fuente importante de energía para la población rural.

Minería. Jamaica y la Guyana son los principales productores de bauxita. Se extraen níquel, esmeraldas, platino, oro, cobre y diamantes. Colombia extrae un tercio de las esmeraldas de todo el mundo y posee los yacimientos de platino más grandes. Los países de América Central no destacan por su producción de minerales. En algunos países, la minería ha estimulado la industria de procesamiento de minerales.

Manufacturas. En la Región existen diversas empresas manufactureras, como procesadoras de productos agrícolas o refinadoras de minerales, ensambladoras asociadas a empresas trasnacionales, fabricantes de dispositivos electrónicos, etc. Entre los productos elaborados en la Región, tanto para consumo local como para exportación, figuran alimentos, muebles, cemento, vidrio, textiles, jabón, pinturas, llantas, papel y cartón, fertilizantes, insecticidas, tabaco, hierro y acero, aluminio y productos de aluminio, derivados de petróleo y productos madereros.

Comercio exterior. Estados Unidos es el principal socio comercial de la Región. Otros socios importantes son Canadá, México, Europa occidental y países sudamericanos. Hay varios tratados de libre comercio entre los países de la misma Región, así como entre ellos y el exterior.

Las organizaciones de libre comercio como el Mercado Común Centroamericano (MCCA o MERCOMUN) y la Asociación de Estados del Caribe (AEC) buscan una mayor integración económica y comercio internacional. El MCCA se fundó en 1960 con todos los países de América Central excepto Belice y Panamá. Distintas circunstancias le impidieron alcanzar su objetivo de liberalización comercial y establecimiento de una zona de libre comercio. Hoy en día, los países de América Central se enfrentan a nuevas barreras arancelarias a causa de la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (1984) y del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (1994), que les impiden ampliar las redes comerciales globales.

La Comunidad del Caribe (CARICOM) también ha establecido el Mercado y Economía Únicos del Caribe (CSME, por sus siglas en inglés) que permite que los Estados Miembros del CARICOM coordinen sus posturas y políticas comerciales y económicas. La formulación y coordinación de las políticas comerciales y económicas es responsabilidad fundamental del Consejo para el Desarrollo Económico y Comercial (COTED, en inglés). La Asociación de Libre Comercio del Caribe (CARIFTA, en inglés), proporciona datos comerciales y listas de empresas en la región. La CARIFTA proporciona servicio de corretaje comercial para ayudar a compradores y vendedores de productos y servicios del Caribe.

1.7. DEFINICIONES GENERALES DE PRODUCTOS QUÍMICOS

1.7.1. Introducción

Esta evaluación abarca los doce Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) definidos en el Convenio de Estocolmo (2001): aldrina, endrina, dieldrina, clordano, DDT, heptacloro, mirex, toxafeno, hexaclorobenceno, PCB, dioxinas y furanos. La evaluación del PNUMA prevé la posibilidad de que, sobre la base de los informes regionales, se hagan ajustes a la lista de productos químicos en función de las prioridades y datos existentes. Además de las doce sustancias seleccionadas en el Convenio de Estocolmo, se han agregado otras sustancias en la presente evaluación: atrazina, endosulfán, pentaclorofenol, éteres de bifenilo polibromado, lindano, compuestos orgánicos de mercurio, compuestos orgánicos de plomo, compuestos orgánicos de estaño, fenoles policlorados, hidrocarburos poliaromáticos, parafinas cloradas de cadena corta, ftalatos, y octil y nonilfenoles.

1.7.2. Plaguicidas

1.7.2.1. Aldrina

Nombre químico: 1,2,3,4,10,10-Hexacloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahidro-1,4-endo,exo-5,8- dimetanonaftaleno (C₁₂H₈Cl₆).

Número de registro CAS: 309-00-2

Propiedades: Solubilidad en agua: 27 µg/L a 25° C; presión de vapor: 2.3 x 10⁻⁵ mm Hg a 20° C; log K_{OW}: 5.17-7.4.

Descubrimiento/Usos: La aldrina se produce comercialmente desde 1950, y hasta principios de los años 1970 se utilizaba en todo el mundo para controlar las plagas de suelos como gusanos de la raíz del maíz, elatéridos, gorgojo acuático del arroz y saltamontes. También se ha utilizado para proteger las estructuras de madera contra las termitas.

Persistencia/Destino: Se metaboliza fácilmente a dieldrina por efecto de plantas y animales. Su biodegradación es lenta. La aldrina se adhiere con fuerza a partículas de suelos y es resistente al lixiviado hacia aguas subterráneas. Se clasificó como sustancia con persistencia moderada, con una vida media de 20 días a 1.6 años en suelo y aguas superficiales.

Toxicidad: La aldrina es tóxica para los seres humanos. Se ha estimado que la dosis letal para un adulto es de aproximadamente 80 mg/kg de peso corporal. La LD₅₀ oral aguda en animales de laboratorio va de 33 mg/kg por peso corporal en conejillos de indias hasta 320 mg/kg por peso corporal en hámsteres. La toxicidad de la aldrina en organismos acuáticos es variada. Los insectos acuáticos son el grupo de invertebrados más vulnerable. El valor de la LC₅₀ a 96 h. va de 1 a 200 µg/L en insectos, y de 2.2 a 53 µg/L en peces. Los límites máximos de residuo en alimentos según recomendación de FAO/OMS varían entre 0.006 mg/kg de grasa láctea y 0.2 mg/kg de grasa de carne. Se han publicado valores de calidad del agua de 0.1 a 180 µg/L. La aldrina no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos por ser los datos escasos o deficientes (Grupo 3 de la IARC).

1.7.2.2. Dieldrina

Nombre químico: 1,2,3,4,10,10-Hexacloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahidroexo-1,4-endo-5,8- dimetanonaftaleno (C₁₂H₈Cl₆O).

Número de registro CAS: 60-57-1

Propiedades: Solubilidad en agua: 140 µg/L a 20° C; presión de vapor: 1.78 x 10⁻⁷ mm Hg a 20° C; log K_{OW}: 3.69-6.2.

Descubrimiento/Usos: La dieldrina apareció en el mercado en 1948 y se utilizó principalmente para el control de insectos de suelos como el gusano de la raíz del maíz, gusano de alambre y gusano cortador.

Persistencia/Destino: La dieldrina es muy persistente en suelos, tiene una vida media de 3 a 4 años en climas templados. Se bioconcentra en organismos. Se estima que su persistencia en el aire es de 4 a 40 horas.

Toxicidad: La toxicidad aguda en peces es elevada (LC_{50} entre 1.1 y 41 mg/L), y moderada en mamíferos (LD_{50} en ratón y rata entre 40 y 70 mg/kg de peso corporal). Sin embargo, una administración diaria de 0.6 mg/kg en conejos tuvo efectos negativos en el índice de supervivencia. La aldrina y la dieldrina afectan principalmente el sistema nervioso central pero no hay pruebas directas de que causen cáncer en seres humanos. Los límites máximos de residuo en alimentos según recomendación de FAO/OMS varían entre 0.006 mg/kg de grasa láctea y 0.2 mg/kg de grasa de aves. Se han publicado valores de calidad del agua entre 0.1 y 18 $\mu\text{g/L}$. No se puede determinar la carcinogenicidad de la dieldrina en seres humanos por ser los datos escasos o deficientes (Grupo 3 de la IARC).

1.7.2.3. Endrina

Nombre químico: 3,4,5,6,9,9-Hexacloro-1a,2,2a,3,6,6a,7,7a-octahidro-2,7:3,6-dimetanonaft[2,3-b]oxireno ($C_{12}H_8Cl_6O$).

Número de registro CAS: 72-20-8

Propiedades: Solubilidad en agua: 220-260 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: 2.7×10^{-7} mm Hg a 25° C; log K_{OW} : 3.21-5.34

Descubrimiento/Usos: La endrina se ha utilizado desde los años 1950 contra una gran variedad de plagas, principalmente en algodón, pero también en arroz, caña de azúcar, maíz y otros cultivos. También se ha utilizado como rodenticida.

Persistencia/Destino: La endrina es muy persistente en suelos (se han registrado vidas medias hasta de 12 años). Se han registrado factores de bioconcentración entre 14 y 18,000 en peces después de una exposición continua.

Toxicidad: La endrina es muy tóxica en peces, invertebrados acuáticos y fitoplancton. Los valores de LC_{50} son, en su mayoría, inferiores a 1 $\mu\text{g/L}$. La toxicidad aguda en animales de laboratorio es alta, con valores de LD_{50} de 3-43 mg/kg, y una LD_{50} dérmica de 5-20 mg/kg en ratas. Durante más de dos años se ha estudiado la toxicidad a largo plazo en ratas; se estimó un NOEL de 0.05 mg/kg pc/día. No se puede determinar la carcinogenicidad de la dieldrina en seres humanos por ser los datos escasos o deficientes (Grupo 3 de la IARC).

1.7.2.4. Clordano

Nombre químico: 1,2,4,5,6,7,8-Octacloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahidro-4,7-metanoindeno ($C_{10}H_6Cl_8$).

Número de registro CAS: 57-74-9

Propiedades: Solubilidad en agua: 56 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: 0.98×10^{-5} mm Hg a 25° C; log K_{OW} : 4.58-5.57.

Descubrimiento/Usos: El clordano apareció en el mercado en 1945 principalmente como insecticida para el control de cucarachas, hormigas, termitas y otras plagas domésticas. El clordano técnico es una mezcla de 120 compuestos por lo menos; entre 60% y 75% de ellos son isómeros de clordano, y los demás están relacionados con compuestos endo como heptacloro, nonacloro, aducto de diels-alder de ciclopentadieno y penta/hexa/octaclorociclopentadienos.

Persistencia/destino: El clordano es muy persistente en suelos y tiene una vida media de aprox. 4 años. Su persistencia y alto coeficiente de partición propician su adhesión a sedimentos acuáticos y su bioconcentración en organismos.

Toxicidad: En organismos acuáticos se han registrado LC_{50} entre 0.4 mg/L (camarón rosado) y 90 mg/L (trucha arcoiris). La toxicidad aguda en mamíferos es moderada, con una LD_{50} en ratas de 200-590 mg/kg por peso corporal (19.1 mg/kg por peso corporal en el caso del oxiclordano). Los límites máximos de residuo de clordano en alimentos, según FAO/OMS, se encuentran entre 0.002 mg/kg de grasa láctea y 0.5 mg/kg de grasa de aves. Se han publicado valores de 1.5 to 6 $\mu\text{g/L}$ en cuanto a calidad del agua. El clordano ha sido

clasificado como sustancia que provoca perturbaciones endocrinas en organismos intactos. El clordano es un posible carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.2.5. Heptacloro

Nombre químico: 1,4,5,6,7,8,8-Heptacloro-3a,4,7,7a-tetrahidro-4,7-metanoindeno (C₁₀H₅Cl₇).

Número de registro CAS: 76-44-8

Propiedades: Solubilidad en agua: 180 µg/L a 25° C; presión de vapor: 0.3 x 10⁻⁵ mm Hg a 20° C; log Kow: 4.4-5.5.

Producción/Usos: El heptacloro se utiliza sobre todo contra insectos de suelo y termitas, y también contra insectos del algodón, saltamontes y el mosquito vector del paludismo. El heptacloro epóxido es un producto más estable de la descomposición del heptacloro.

Persistencia/destino: El heptacloro se metaboliza en heptacloro epóxido en suelos, plantas y animales. Éste es más estable en sistemas biológicos y es carcinógeno. La vida media del heptacloro en suelos de regiones templadas es de 0.75 a 2 años. Su alto coeficiente de partición crea las condiciones necesarias para que se bioconcentre en organismos.

Toxicidad: La toxicidad aguda del heptacloro en mamíferos es moderada (se han publicado valores de LD₅₀ de 40 a 119 mg/kg). La toxicidad en organismos acuáticos es mayor: se han encontrado valores de LC₅₀ de 0.11 µg/L en camarón rosado. La información sobre los efectos en seres humanos es limitada. El heptacloro es posiblemente carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B de la IARC). Los niveles máximos de residuo que recomienda la FAO/OMS están entre 0.006 mg/kg de grasa láctea y 0.2 mg/kg de grasa en carne de ave o roja.

1.7.2.6. Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

Nombre químico: 1,1,1-Tricloro-2,2-bis-(4-clorofenil)-etano (C₁₄H₉Cl₅).

Número de registro CAS: 50-29-3.

Propiedades: Solubilidad en agua: 1.2-5.5 µg/L a 25° C; presión de vapor: 0.2 x 10⁻⁶ mm Hg a 20° C; log Kow: 6.19 en el caso del *p,p'*-DDT, 5.5 en el caso del *p,p'*-DDD y 5.7 en el caso del *p,p'*-DDE.

Descubrimiento/Usos: El DDT se utilizó por primera vez en la Segunda Guerra Mundial para controlar insectos vectores de enfermedades como el paludismo, dengue y tifoidea. Después se utilizó en una gran variedad de cultivos agrícolas. El producto técnico es una mezcla de aprox. 85% de *p,p'*-DDT y 15% de isómeros de *o,p'*-DDT.

Persistencia/destino: El DDT es muy persistente en suelos; su vida media puede llegar a ser de 15 años y de 7 días en el aire. También presenta factores de bioconcentración alta (del orden de 50,000 en peces y de 500,000 en bivalvos). En el medio ambiente, este compuesto se metaboliza principalmente en DDD y DDE.

Toxicidad: La concentración más baja reportada de DDT en dieta que causa adelgazamiento de los cascarones de huevo es de 0.6 mg/kg en el pato negro. Se ha registrado una LC₅₀ de 1.5 mg/L en perca americana y 56 mg/L en guppy. La toxicidad aguda del DDT en mamíferos es moderada; con una LD₅₀ en ratas de 113-118 mg/kg de peso corporal. El DDT tiene una actividad similar a la del estrógeno y es un posible carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B de la IARC). El nivel máximo de residuo en alimentos que recomienda la OMS/FAO se encuentra entre 0.02 mg/kg de grasa láctea y 5 mg/kg de grasa de carne roja. Los niveles máximos permisibles de DDT en agua potable (OMS) son de 1.0 µg/L.

1.7.2.7 Toxafeno

Nombre químico: Bornanos y camfenos policlorados(C₁₀H₁₀Cl₈).

Número de registro CAS: 8001-35-2

Propiedades: Solubilidad en agua: 550 µg/L a 20° C; presión de vapor: 3.3 x 10⁻⁵ mm Hg a 25° C; log K_{OW}: 3.23-5.50.

Descubrimiento/Usos: Desde 1949 se ha utilizado como insecticida no sistémico con cierta actividad acaricida, sobre todo en el algodón, cereales, frutas, nueces y verduras. También se utilizaba para controlar ectoparásitos en ganado, tales como piojos, moscas, garrapatas, tiña y sarna. El producto técnico es una mezcla compleja de más de 300 congéneres, que contienen de 67 a 69% de cloro por peso.

Persistencia/destino: El toxafeno tiene una vida media en suelos de 100 días a 12 años. Se ha demostrado que se bioconcentra en organismos acuáticos (FBC de 4247 en peces mosquito y 76000 en trucha común).

Toxicidad: El toxafeno es sumamente tóxico en peces, con valores de LC_{50} a 96 horas que van desde 1.8 $\mu\text{g/L}$ en trucha arcoiris hasta 22 $\mu\text{g/L}$ en mojarra azul. Se observó que una exposición prolongada a 0.5 $\mu\text{g/L}$ reducía a cero la viabilidad del huevo. La toxicidad oral aguda va desde 49 mg/kg de peso corporal en perros hasta 365 mg/kg en conejillos de Indias. En estudios a largo plazo, el NOEL en ratas es de 0.35 mg/kg pc/día, y la LD_{50} se encuentra entre 60 y 293 mg/kg pc. Hay evidencias importantes de su potencial de perturbación endocrina. El toxafeno es carcinógeno en ratas y ratones, con un factor potencial de cáncer de 1.1 mg/kg/día en exposición oral. El toxafeno es un posible carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.2.6. Mirex

Nombre químico: 1,1a,2,2,3,3a,4,5,5,5a,6-Dodecaclorooctahidro-1,3,4-meteno-1h-ciclobuta[cd]pentaleno ($C_{10}Cl_{12}$).

Número de registro CAS: 2385-85-5

Propiedades: Solubilidad en agua: 0.07 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: 3×10^{-7} mm Hg a 25° C; log Kow: 5.28.

Descubrimiento/Usos: A mediados de los años 1950 comenzó a utilizarse en formulaciones plaguicidas, sobre todo para el control de hormigas. También es un retardante de fuego en plásticos, caucho, pinturas, papel y aparatos eléctricos. Las formulaciones de tipo técnico contienen 95.19% de mirex y 2.58% de clordecone; el resto no está especificado. Se denomina también mirex a los cebos compuestos de sémola de maíz, aceite de soya y mirex.

Persistencia/destino: El mirex es considerado como uno de los plaguicidas más estables y persistentes, cuya vida media en suelos llega hasta 10 años. Se han observado factores de bioconcentración de 2600 en camarón rosado y de 51400 en carpa cabezona. Debido a su volatilidad ($VP = 4.76$ Pa, $H = 52$ Pa m^3/mol), el mirex puede transportarse a grandes distancias

Toxicidad: La toxicidad aguda del mirex en mamíferos es moderada, con una LD_{50} de 235 mg/kg en ratas y una toxicidad dérmica de 80 mg/kg en conejos. El mirex también es tóxico en peces y puede afectar su conducta (LC_{50} [96 h] de 0.2 y 30 mg/L en trucha arcoiris y mojarra azul, respectivamente). Con niveles de exposición de 1 $\mu\text{g/L}$ se observó mortandad retardada en crustáceos. Existe evidencia de potencial de perturbación endocrina y posible riesgo de carcinogenicidad (Grupo 2B de la IARC).

1.7.2.7. Hexaclorobenceno (HCB)

Nombre químico: Hexaclorobenceno (C_6Cl_6)

Número de registro CAS: 118-74-1

Propiedades: Solubilidad en agua: 50 $\mu\text{g/L}$ a 20° C; presión de vapor: 1.09×10^{-5} mm Hg a 20° C; log Kow: 3.93-6.42.

Descubrimiento/Usos: El HCB se introdujo por primera vez en 1945 como fungicida para el tratamiento de semillas de cereales. Se utilizaba en pirotecnia, munición y caucho sintético. Hoy en día es mayormente un subproducto de la producción de un gran número de compuestos clorados, sobre todo bencenos menos clorados, solventes y diversos plaguicidas. El HCB se emite a la atmósfera como gas de combustión generado por las plantas incineradoras y la industria metalúrgica.

Persistencia/destino: El HCB tiene una vida media aproximada de 2.7-5.7 años en suelos y de 0.5-4.2 años en el aire. El HCB tiene un potencial de bioacumulación relativamente alto y una vida media prolongada en biota.

Toxicidad: La LC_{50} en peces oscila entre 50 y 200 $\mu\text{g/L}$. La toxicidad aguda del HCB es baja, con valores de LD_{50} de 3.5 mg/g en ratas. Se han observado ligeros efectos en el hígado de ratas con una dosis diaria de 0.25 mg HCB/kg pc. Se sabe que el HCB provoca deficiencia hepática en seres humanos (*Porfiria cutanea tarda*) y la IARC lo ha clasificado como posible carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B).

1.7.3. Compuestos industriales

1.7.3.1. Bifenilos policlorados (PCB)

Nombre químico: Bifenilos policlorados ($C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$, en que n va de 1 a 10).

Número de registro CAS: Diversos (ej.: Aroclor 1242: 53469-21-9, Aroclor 1254: 11097-69-1)

Propiedades: A mayor cloración, menor solubilidad en agua: de 0.01 a 0.0001 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: $1.6-0.003 \times 10^{-6}$ mm Hg a 20° C; log Kow: 4.3-8.26.

Descubrimiento/Usos: Los PCB se introdujeron en 1929 y se fabricaron en varios países con diversos nombres comerciales (Aroclor, Clophen, Phenoclor). Son químicamente estables y resistentes al calor. Se utilizaban en todo el mundo como aceites de transformadores y condensadores, líquidos hidráulicos y de termopermutador, y aceites para lubricación y corte. En teoría, existen en total 209 posibles congéneres de bifenilo policlorado. Cerca de 130 se utilizan en productos comerciales.

Persistencia/destino: La mayoría de los congéneres de PCB, sobre todo los que carecen de posiciones adyacentes no sustituidas en los anillos bifenilo (ej., 2,4,5-, 2,3,5- o 2,3,6-sustituidos en ambos anillos) son extremadamente persistentes en el medio ambiente. Se estima que tienen una vida media que va de tres semanas hasta dos años en el aire y, a excepción de los diclorobifenilos y monoclorobifenilos, de más de seis años en suelos y sedimentos aeróbicos. Los PCB tienen una vida media sumamente larga en peces adultos. Por ejemplo, un estudio de ocho años en anguilas determinó que la vida media del CB153 era de más de diez años.

Toxicidad: La LC_{50} en etapa larval de trucha arcoiris es de 0.32 $\mu\text{g/L}$, con un NOEL de 0.01 $\mu\text{g/L}$. Por lo regular, la toxicidad aguda de los BPC en mamíferos es baja, con valores de LD_{50} de 1 g/kg pc en ratas. Los PCB han sido clasificados como sustancias que provocan perturbación endocrina en organismos intactos. Los PCB son carcinógenos en animales de laboratorio y posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2A de la IARC).

1.7.4. Subproductos no intencionales

1.5.4.1. Dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF)

Nombre químico: Las PCDD ($C_{12}H_{(8-n)}Cl_nO_2$) y los PCDF ($C_{12}H_{(8-n)}Cl_nO$) puede contener entre 1 y 8 átomos de cloro. Las dioxinas y los furanos tienen 75 y 135 posibles isómeros posicionales, respectivamente.

Número de registro CAS: Diversos (2,3,7,8-TetraCDD: 1746-01-6; 2,3,7,8-TetraCDF: 51207-31-9).

Propiedades: Solubilidad en agua: en escala de 0.43 – 0.0002 ng/L a 25° C; presión de vapor: 2 – 0.007 $\times 10^{-6}$ mm Hg a 20° C; log Kow: en escala de 6.60 – 8.20 en el caso de congéneres tetra- a octa-sustituidos.

Descubrimiento/Usos: Las PCDD y los PCDF son derivados de la producción de otras sustancias químicas y pueden formarse en procesos de combustión e incineración a baja temperatura. No tienen uso conocido.

Persistencia/destino: Las PCDD y los PCDF se caracterizan por su lipofilia, semivolatilidad, resistencia a la degradación (vida media del TCDD en suelos: de 10 a 12 años) y transporte a grandes distancias. También se conocen por su capacidad de bioconcentración y biomagnificación en ciertas condiciones ambientales.

Toxicidad: Se han registrado efectos toxicológicos de los compuestos sustituidos 2,3,7,8 (17 congéneres) que son agonistas para el receptor de aril-hidrocarburo. Todas las PCDD y los PCDF 2,3,7,8-sustituidas, así como los PCB coplanares (sin sustitución de cloro en las posiciones orto) muestran el mismo tipo de respuesta biológica y tóxica. Algunos de los posibles efectos son toxicidad dérmica, inmunotoxicidad, efectos en la reproducción y teratogenicidad y perturbación endocrina. Las PCDD y los PCDF no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos por ser los datos escasos o deficientes (Grupo 3 de la IARC). El

único efecto conocido persistente en seres humanos y asociado a la exposición a dioxinas es el cloracné. Los grupos más vulnerables son los fetos y los neonatos. Se han detectado efectos en el sistema inmunológico de ratones con dosis de 10 ng/kg pc/día, y en monos rhesus con dosis de 1-2 ng/kg pc/día. En ratas, se han observado efectos bioquímicos con dosis de 0.1 ng/kg pc/día. En una reevaluación de la ingesta diaria aceptable (IDA) de dioxinas, furanos (y un BPC planar), la OMS decidió recomendar un TEQ entre 1 y 4 pg/kg pc, pero el valor de ingesta aceptable por mes que se estableció más recientemente es de 1-70 TEQ pg/kg pc.

1.7.5. Compuestos de la región

1.7.5.1. Atrazina

Nombre químico: 2-Cloro-4-(etlamino)-6-(isopropilamino)-s-triazina (C₁₀H₆Cl₁₈).

Número de registro CAS: 19-12-24-9

Propiedades: Solubilidad en agua: 28 mg/L a 20° C; presión de vapor: 3.0 x 10⁻⁷ mm Hg a 20° C; log Kow: 2.34.

Descubrimiento/Usos: La atrazina es un herbicida selectivo de triazina que se utiliza para controlar malezas herbáceas y frondosas en maíz, sorgo, caña de azúcar, piña, pino de navidad, y otros cultivos, así como en las plantaciones de reforestación de coníferas. Se descubrió y comenzó a utilizarse en los años 1950. La atrazina todavía se usa mucho porque es barata y reduce eficazmente las pérdidas en cultivos por interferencia de malezas.

Persistencia/destino: Este producto químico no se adsorbe fuertemente en partículas de suelos y tiene una vida media larga (60 a >100 días). Pese a su solubilidad moderada en agua, la atrazina tiene un potencial elevado de contaminación de aguas subterráneas.

Toxicidad: La LD₅₀ oral de la atrazina es de 3090 mg/kg en ratas, 1750 mg/kg en ratones, 750 mg/kg en conejos y de 1000 mg/kg en hámsteres. La LD₅₀ dérmica en conejos es de 7500 mg/kg y en ratas es superior a los 3000 mg/kg. La atrazina no es prácticamente tóxica para las aves. La LD₅₀ es superior a los 2000 mg/kg en el ánade real. La atrazina es ligeramente tóxica en peces y otros organismos acuáticos. Su nivel de bioacumulación en peces es bajo. Los datos existentes en cuanto a su potencial carcinogénico no son concluyentes.

1.7.5.2.1.7.5.2. Hexaclorociclohexanos (HCH)

Nombre químico: 1,2,3,4,5,6-Hexaclorociclohexano (isómeros mezclados) (C₆H₆Cl₆).

Número de registro CAS: 608-73-1 (γ-HCH, lindano: 58-89-9).

Propiedades: γHCH 11.8 solubilidad en agua: 7 mg/L a 20° C; presión de vapor: 3.3 x 10⁻⁵ mm Hg a 20° C; log Kow: 3.8.

Descubrimiento/Usos: Las formulaciones principales son: “HCH técnico”, mezcla de diversos isómeros, entre ellos αHCH (55-80%), β-HCH (5-14%) y γ-HCH (8-15%), y “lindano”, que es esencialmente γHCH puro. El lindano ha sido uno de los insecticidas más utilizados en el mundo entero. En los años 1940 se descubrieron sus propiedades como insecticida. Se utiliza para controlar una gran variedad de insectos chupadores y masticadores y se ha utilizado para el tratamiento de semillas en suelos, en productos biocidas para el hogar, y como conservador de textiles y de madera.

Persistencia/destino: El lindano y otros isómeros de HCH son relativamente persistentes en suelo y agua, con una vida media normalmente superior a 1 y 2 años, respectivamente. Los HCH son mucho menos bioacumulativos que otros compuestos organoclorados debido a su lipofilia relativamente baja. Sus valores relativamente altos de vapor de presión, sobre todo del isómero α-HCH, determinan su transporte a grandes distancias en la atmósfera.

Toxicidad: El lindano es moderadamente tóxico en invertebrados y peces, con valores de LC₅₀ de 20-90 µg/L. La toxicidad aguda en ratones y ratas es moderada, con valores de LD₅₀ entre 60-250 mg/kg. Según

algunos estudios, el lindano no tiene potencial mutagénico, pero ocasiona perturbaciones endocrinas. Los hexaclorociclohexanos son posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.5.3. Parafinas cloradas (CP)

Nombre químico: Alcanos policlorados ($C_xH_{(2x-y+2)}Cl_y$), producidos por cloración de n-alcanos líquidos o cera de parafina, con un contenido de 30 a 70% de cloro. Estos productos generalmente se dividen en tres grupos, según la longitud de la cadena: cadena corta ($C_{10} - C_{13}$), media ($C_{14} - C_{17}$) y larga ($C_{18} - C_{30}$).

Número de registro CAS: 108171-26-2

Propiedades: Las propiedades varían según el contenido de cloro. Solubilidad en agua: de 1.7 a 236 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: 6.78×10^{-2} a 8.47×10^{-9} mm Hg a 20° C; log Kow: entre 5.06 y 8.12.

Descubrimiento/Usos: Se han utilizado sobre todo como plastificantes, principalmente en combinación con plastificantes primarios como ciertos ftalatos en PVC flexibles. Las parafinas cloradas ofrecen algunas ventajas técnicas; la más importante de ellas es la de mejorar las propiedades ignífugas y la lubricación de extrema presión.

Persistencia/destino: Las parafinas cloradas pueden emitirse en el medio ambiente debido a la incorrecta eliminación de fluidos metalúrgicos o de polímeros que contienen parafinas cloradas. La fuga de parafinas cloradas por el lixiviado de pinturas y revestimientos también puede contribuir a la contaminación ambiental. Las parafinas cloradas de cadena con menos de 50% de cloro parecen degradarse en condiciones aeróbicas. Los compuestos de cadena mediana y larga se degradan más lentamente. Las parafinas cloradas se bioacumulan. Las sustancias con contenido más bajo de cloro se ingieren y eliminan más rápido.

Toxicidad: La toxicidad aguda de las parafinas cloradas en mamíferos es baja, con valores de LD_{50} orales entre 4 y 50 g/kg pc, pero en experimentos con dosis repetidas, se han observado efectos en el hígado a dosis de 10 - 100 mg/kg pc/día. Los análisis de laboratorio con compuestos de cadena mediana y corta han mostrado efectos tóxicos en peces y otros organismos acuáticos después de exposición prolongada. El NOEL parece situarse entre 2 y 5 $\mu\text{g/L}$ para las especies más vulnerables analizadas. Las parafinas cloradas son posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.5.4. Endosulfán

Nombre químico: 6,7,8,9,10,10-Hexacloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatíepin-3-óxido ($C_9H_6Cl_6O_3S$).

Número de registro CAS: 115-29-7.

Propiedades: Solubilidad en agua: 320 $\mu\text{g/L}$ a 25° C; presión de vapor: 0.17×10^{-4} mm Hg a 25° C; log Kow: 2.23-3.62.

Descubrimiento/Usos: El endosulfán se introdujo por primera vez en 1954. Se utiliza como insecticida de contacto y de ingestión y acaricida en una gran variedad de cultivos comestibles y no comestibles (té, verduras, frutas, tabaco, algodón), y controla más de 100 tipos de insectos plaga. Las formulaciones de endosulfán se utilizan en la agricultura comercial y jardinería, así como para la conservación de maderas. El producto técnico contiene por lo menos 94% de dos isómeros puros, endosulfán α - y β .

Persistencia/destino: Tiene una persistencia moderada en suelos, y una vida media promedio de 50 días. Los dos isómeros presentan distintos tiempos de degradación en suelos (en condiciones neutras, la vida media de los isómeros α y β es de 35 y 150 días, respectivamente). El endosulfán tiene una capacidad moderada de adsorción en suelos. No es probable su lixiviación en aguas subterráneas. En plantas, el endosulfán se descompone rápidamente en el respectivo sulfato en la mayoría de las frutas y verduras. Cincuenta por ciento del residuo genitor se pierde al cabo de 3 a 7 días.

Toxicidad: El endosulfán tiene una toxicidad moderadamente alta en especies de aves (ánade real: LD_{50} oral de 31 - 243 mg/kg) y es muy tóxico en organismos acuáticos (LC_{50} a 96 horas de 1.5 $\mu\text{g/L}$ en trucha arcoiris). También ha mostrado toxicidad alta en ratas (LD_{50} oral: 18 - 160 mg/kg, y dérmica: 78 - 359 mg/kg). Las ratas hembra parecen ser 4 o 5 veces más vulnerables a los efectos letales del endosulfán técnico que los

machos. Se considera que el isómero α es más tóxico que el β . Existe fuerte evidencia de su potencial de perturbación endocrina.

1.7.5.5. Pentaclorofenol (PCP)

Nombre químico: Pentaclorofenol (C_6Cl_5OH).

Número de registro CAS: 87-86-5.

Propiedades: Solubilidad en agua: 14 mg/L a 20° C; presión de vapor: 16×10^{-5} mm Hg a 20° C; log Kow: 3.32 – 5.86.

Descubrimiento/Usos: Se utiliza como insecticida (termiticida), fungicida, herbicida de contacto no selectivo (defoliante) y, sobre todo como conservador de madera. También se utiliza en pinturas anti-incrustantes y en otros materiales (textiles, tintas, pinturas, desinfectantes y limpiadores) como inhibidor de la fermentación. El PCP técnico contiene cantidades residuales de PCDD y PCDF.

Persistencia/destino: El índice de fotocomposición aumenta con el pH ($t_{1/2}$ 100 h. con un pH de 3.3, y 3.5 hrs. con un pH de 7.3.). La descomposición total en suspensiones de suelo lleva >72 días. Se han registrado vidas medias de 23 a 178 días. El PCP se enriquece a lo largo de la cadena alimentaria, pero se elimina rápidamente al detener la exposición ($t_{1/2} = 10$ -24 h en peces).

Toxicidad: El PCP es sumamente tóxico en organismos acuáticos y tiene ciertos efectos en la salud de seres humanos. Despide un olor desagradable a concentraciones incluso muy bajas. Los valores de LC_{50} de 24 h que se observaron en truchas son de 0.2 mg/L. Se ha observado toxicidad crónica con concentraciones hasta de 3.2 μ g/L. La toxicidad aguda del PCP en mamíferos es de moderada a elevada. La LD_{50} oral en ratas va de 50 a 210 mg/kg pc. El LC_{50} va desde 0.093 mg/L en truchas arcoiris (48 h) hasta 77-0.97 mg/L en guppy (96 h) y 0.47 mg/L en carpa cabezona (48 h). El PCP es un posible carcinógeno en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.5.6. Hexabromobifenilo

Nombre químico: Hexabromobifenilo ($C_{12}H_4Br_6$).

Número de registro CAS: 59536-65-1

Propiedades: Solubilidad en agua: 0.6 μ g/L a 25° C; presión de vapor: 10^{-7} mm Hg a 20° C; log Kow: 6.39.

Descubrimiento/Usos: Los bifenilos polibromados (PBB) comenzaron a producirse en 1970. El hexabromobifenilo se utilizaba como retardante de llama principalmente en termoplásticos para fabricación de aparatos de oficina y productos para la construcción, industriales y eléctricos. Se utilizaban pequeñas cantidades como retardante del fuego en revestimientos y lacas, y en espuma de poliuretano para tapicería de autos.

Persistencia/destino: El hexabromobifenilo se adsorbe con fuerza en suelos y sedimentos y suele ser persistente en el medio ambiente. El hexabromobifenilo es resistente a la degradación química y biológica. Se ha encontrado hexabromobifenilo en varias muestras de sedimento de estuarios de grandes ríos así como en peces comestibles.

Toxicidad: Existen pocos datos sobre toxicidad con análisis de breve plazo en organismos acuáticos. Los valores de LD_{50} de mezclas comerciales muestran un nivel de toxicidad aguda relativamente bajo (la LD_{50} está entre > 1 y 21.5 g/kg peso corporal en roedores de laboratorio). La exposición oral de animales de laboratorio a los PBB han provocado pérdida de peso, afecciones cutáneas, efectos en el sistema nervioso, y defectos de nacimiento en crías. Los seres humanos expuestos mediante alimentos contaminados han presentado afecciones cutáneas como acné y pérdida de cabello. Los PBB provocan perturbación endocrina y son posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.5.7. Éteres de bifenilo polibromado (PBDE)

Nombre químico: Éteres de bifenilo polibromado ($C_{12}H_{(10-n)}Br_nO$, donde $n = 1$ -10). En total, existen 209 congéneres, y en mezclas comerciales predominan los isómeros de sustitución tetra, penta y octa.

Número de registro CAS: Diversos (PeBDE: 32534-81-9; OBDE: 32536-52-0; DeBDE: 1163-19-5)

Propiedades: Solubilidad en agua: 0.9 ng/L a 25° C (PeBDE); presión de vapor: 3.85×10^{-3} a $<10^{-7}$ mmHg a 20-25° C; log Kow: 4.28 - 9.9.

Descubrimiento/Usos: Desde los años 1960 se producen tres formulaciones comerciales de PBDE. El producto pentabromado se utiliza principalmente como retardante de llama en espumas de poliuretano para muebles, forros de tapiz y alfombra, y ropa de cama. El octa comercial es una mezcla de éteres hexa- (10-12%), hepta- (44-46%), octa- (33-35%) y nonabromobifenilo (10-11%). Se utiliza como ignífugo en una gran variedad de termoplásticos, y se recomienda para aplicaciones de moldeo por inyección como en el caso del poliestireno de alto impacto (PAI). El producto deca (un congénere solo) se utiliza principalmente para textiles y plásticos más densos, como receptáculos de diversos aparatos eléctricos, sobre todo televisores y computadoras.

Persistencia/destino: Aunque son limitados, los datos sobre destino ambiental sugieren que la biodegradación no representa una forma importante de degradación, pero que la fotodegradación puede desempeñar un papel significativo. Se han encontrado grandes concentraciones de PBDE en aves y mamíferos marinos de zonas remotas. Las vidas medias de los componentes de PBDE en el tejido adiposo de ratas varía entre 19 y 119 días, y el valor más elevado corresponde a los congéneres más bromados.

Toxicidad: Los datos existentes sugieren que los congéneres de PBDE más bajos (tetra a hexa) pueden ser carcinógenos, tóxicos para el desarrollo neuronal y perturbadores endocrinos. Los estudios en ratas con PeBDE comercial indican una baja toxicidad aguda por exposición vía oral y dérmica, con valores de LD₅₀ de > 2000 mg/kg pc. En un estudio de 30 días en ratas, se observaron efectos hepáticos con dosis de 2 mg/kg pc/día, y un NOEL de 1mg/kg pc/día. También se ha estudiado la toxicidad para la *Daphnia magna* y se ha observado una LC₅₀ de 14 µg/L con una NOEC de 4.9 µg/L. Aunque los datos sobre toxicología son limitados, los PBDE pueden tener características de perturbación endocrina y los efectos de la exposición en la salud humana son motivo de preocupación.

1.7.5.8. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)

Nombre químico: Los PAH son un grupo de compuestos que contienen dos o más enlaces aromáticos fusionados.

Número de registro CAS: Diversos

Propiedades: Solubilidad en agua: 0.00014 -2.1 mg/L a 25° C; presión de vapor: de 0.0015×10^{-9} a 0.0051 mmHg a 25° C; log Kow: 4.79-8.20

Descubrimiento/Usos: La mayoría de los PAH se forman durante la combustión incompleta de material orgánico. La composición de una mezcla de PAH varía según la(s) fuente(s) y por determinados efectos de la acción del clima.

Persistencia/destino: La persistencia de los PAH varía según su peso molecular. Los PAH con bajo peso molecular se degradan con mayor facilidad. Las vidas medias registradas del naftaleno, antraceno y benzopireno en sedimento son de 9, 43 y 83 horas, respectivamente. Los PAH con mayor peso molecular tienen vidas medias en suelos y sedimentos de varios años. El BCF en organismos acuáticos suele oscilar entre 100 y 2000 y aumenta según el tamaño molecular. Debido a su extensa distribución, los PAH representan un problema ambiental a nivel mundial.

Toxicidad: La toxicidad aguda de los PAH de bajo peso molecular es moderada: en ratas, la LD₅₀ del naftaleno es de 490 y la del antraceno de 18000 mg/kg peso corporal, mientras que los PAH con mayor peso molecular son mucho más tóxicos. Así, la LD₅₀ del benzoantraceno es de 10mg/kg peso corporal en ratones. En *Daphnia pulex*, la LC₅₀ es de 1.0 mg/L para el naftaleno, de 0.1 mg/L para el fenantreno y de 0.005 mg/L para el benzopireno. El efecto crítico de muchos PAH en mamíferos es su potencial carcinógeno. La actividad metabólica de estas sustancias produce intermediarios que forman enlaces covalentes con el ADN celular. La IARC ha clasificado al benzatranceno, el benzopireno y el dibenzoantraceno como posibles carcinógenos en

seres humanos (Grupo 2A). El benzo[b]fluoranteno y el indeno[1,2,3-c,d]pireno fueron clasificados como posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B).

1.7.5.9. Ftalatos

Nombre químico: Los ftalatos engloban un variado grupo de compuestos. Dimetilftalato (DMP), dietilftalato (DEP), dibutilftalato (DBP), benzilbutilftalato (BBP), di(2-etilexil)ftalato (DEHP)(C₂₄H₃₈O₄) y dioctilftalato (DOP) son los más comunes.

Número de registro CAS: 84-74-2 (DBP), 85-68-7 (BBP), 117-81-7 (DEHP).

Propiedades: Las propiedades fisicoquímicas de los ésteres de ácido ftálico varían enormemente según las fracciones de alcohol. Solubilidad en agua: 9.9 mg/L (DBP) y 0.3 mg/L (DEHP) a 25° C; presión de vapor: 3.5 x 10⁻⁵ (DBP) y 6.4 x 10⁻⁶ (DEHP) mm Hg a 25° C; log Kow: 1.5 to 7.1.

Descubrimiento/Usos: Se utilizan mucho como plastificantes, repelentes de insectos y solventes para acetato de celulosa en la fabricación de barnices y lubricantes. El plástico de vinil puede contener hasta 40% de DEHP.

Persistencia/destino: Los ftalatos son contaminantes ubicuos de sedimentos marinos, estuarinos y de aguas dulces, lodos de depuración, suelos y alimentos. Sus valores de degradación (t^{1/2}) van de 1 a 30 días en suelos y aguas dulces.

Toxicidad: Por lo regular, los ftalatos tiene baja toxicidad aguda: la LD₅₀ oral en el caso del DEHP es de 25-34 g/kg, según la especie; en el caso del DBP, la LD₅₀ registrada en ratas tras suministro oral se encuentra entre 8 y 20 g/kg peso corporal; en ratones, los valores son de aproximadamente 5 y 16 g/kg peso corporal. A los niveles bajos en que suele estar presente, el DEHP no es tóxico en comunidades acuáticas. En animales, los niveles elevados de DEHP afectan hígado y riñón así como la capacidad de reproducción. Se ha observado que los ftalatos son perturbadores endocrinos. No se puede clasificar a los ftalatos como carcinógenos en seres humanos ya que los datos son escasos o deficientes (Grupo 3 de la IARC). La EPA propuso una Concentración máxima permisible (*Maximum Admissible Concentration, MAC*) de 6 µg/L de DEHP en agua potable.

1.7.5.10. Nonilfenol y octilfenol

Nombre químico: NF: C₁₅H₂₄O; OF: C₁₄H₂₂O.

Número de registro CAS: 25154-52-3 (NF).

Propiedades: Solubilidad en agua: 6.3 µg/L (NF) a 25° C; presión de vapor: 7.5 x 10⁻⁴ mm Hg a 20° C (NF); log Kow: 4.5 (NF) y 5.92 (OF).

Descubrimiento/Usos: El NF y el OF son compuestos de base en la síntesis de etoxilados de alquilfenol (APE), y se usaron por primera vez en los años 1960. Estos compuestos son agentes limpiadores y tensoactivos sumamente efectivos que se han utilizado mucho en diversas aplicaciones industriales, como textiles, pulpa y papel, pinturas, adhesivos, resinas y recubrimientos de protección. Se utilizan derivados de fosfito de alquilfenol como estabilizadores UV en plásticos.

Persistencia/destino: El NF y el OF son los productos finales de la degradación de los APE en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Por eso, la mayor parte se libera en el agua y se concentra en lodos de depuración. Los NF y los t-OF son persistentes en el medio ambiente y sus vidas medias son de 30-60 años en sedimentos marinos, 1-3 semanas en aguas estuarinas y 10-48 horas en la atmósfera. Debido a su persistencia, pueden acumularse considerablemente en especies acuáticas. Sin embargo, su excreción y metabolismo es rápido.

Toxicidad: Los valores de toxicidad aguda del NF y el OF en peces, invertebrados y algas van de 17 y 3,000 µg/L. En análisis de toxicidad crónica se determinaron NOEC de 6 µg/L en peces y de 3.7 µg/L en invertebrados. El umbral de inducción de vitellogenin en peces es de 10 µg/L en el caso del NF y de 3 µg/L en el caso del OF (similar al NOEC más bajo). Los alquilfenoles son sustancias químicas que provocan perturbaciones endocrinas también en mamíferos.

1.7.5.11. Compuestos orgánicos de estaño

Nombre químico: Los compuestos orgánicos de estaño comprenden compuestos mono-, di-, tri- y tetrabutíl y trifenil estaño. Se identifican por la siguiente fórmula general: $(n-C_4H_9)_nSn-X$ y $(C_6H_5)_3Sn-X$, en que X es un anión o un grupo con enlaces covalentes mediante un átomo hetero.

Número de registro CAS: 56-35-9 (TBTO); 76-87-9 (TPTOH)

Propiedades: Solubilidad en agua: 4 mg/L (TBTO) y 1 mg/L (TPTOH) a 25° C y pH 7; presión de vapor: 7.5×10^{-7} mm Hg a 20° C (TBTO) 3.5×10^{-8} mmHg a 50° C (TPTOH); log Kow: 3.19 - 3.84. En aguas marinas y en condiciones normales, el TBT está presente de tres formas (hidróxido, cloro y carbonato).

Descubrimiento/Usos: Los compuestos orgánicos de estaño se utilizan principalmente como pinturas anti-incrustantes (tributíl y trifenil estaño) para estructuras submarinas y barcos. También se utilizan, aunque en menor grado, como agentes antisépticos o desinfectantes en textiles y sistemas de aguas industriales, como sistemas de torre de enfriamiento y de aguas de refrigeración, de molienda de papel y pulpa de madera, y en la fabricación de cerveza. También se utilizan como estabilizadores en plásticos y como agentes catalizadores en la fabricación de espuma flexible, así como para controlar la esquistosomiasis.

Persistencia/destino: En condiciones aeróbicas, el TBT se degrada en un periodo de 1 a 3 meses, mientras que en suelos anaeróbicos puede persistir durante más de dos años. Dada su baja solubilidad en agua, se adhiere con fuerza a materiales suspendidos y sedimentos. El TBT es lipofílico y tiende a acumularse en organismos acuáticos. Las ostras expuestas a concentraciones muy bajas presentan valores de FBC entre 1,000 y 6,000.

Toxicidad: El TBT es moderadamente tóxico y todos sus derivados son incluso menos tóxicos. A principios de los años 1980, en Francia, se descubrió su impacto en el medio ambiente, observándose efectos nocivos en organismos acuáticos, como malformaciones de conchas de ostras, imposex en caracoles marinos y menor resistencia a infecciones (ej., en lenguado). Los moluscos reaccionan adversamente ante niveles muy bajos de TBT (0.06-2.3 ug/L). Las larvas de langosta presentan cese casi total del crecimiento con niveles de apenas 1.0 ug/L de TBT. En análisis de laboratorio, la reproducción se inhibe cuando, al exponer a los caracoles hembras a 0.05-0.003 ug/L de TBT, desarrollan características de caracoles macho. Se ha demostrado que grandes dosis de TBT dañan los sistemas reproductivo y nervioso central, la estructura ósea y el conducto hepático de los mamíferos.

1.7.5.12. Compuestos orgánicos de mercurio

Nombre químico: El compuesto de mayor preocupación es el metilmercurio, $Hg(CH_3)_2$.

Número de registro CAS: 22967-92-6

Propiedades: Solubilidad en agua: 0.1 g/L a 21° C ($HgCH_3Cl$) y 1.0 g/L a 25° C ($Hg(CH_3)_2$); presión de vapor: 8.5×10^{-3} mm Hg a 25° C ($HgCH_3Cl$); log Kow: 1.6 ($HgCH_3Cl$) y 2.28 ($Hg(CH_3)_2$).

Producción/Usos: Existen muchas fuentes emisoras de mercurio en el medio ambiente, tanto naturales (volcanes, depósitos de mercurio y volatilización desde los océanos) como antropógenas (combustión de carbón, industria cloro-alcalina, incineración de desechos y procesamiento de metales). El mercurio también se utiliza en termómetros, baterías, lámparas, procesos industriales, refinamiento, aceites lubricantes y amalgamas dentales. El metilmercurio no se utiliza a nivel industrial; se forma en el medio ambiente por metilación de iones de mercurio inorgánico, sobre todo por efecto de microorganismos en aguas y suelos.

Persistencia/destino: El mercurio liberado en el medio ambiente puede permanecer cerca de su fuente durante largos periodos, o dispersarse extensamente a escala regional, e incluso mundial. Los compuestos metilados de mercurio son tóxicos y altamente bioacumulativos. El contenido de mercurio asciende por la cadena alimentaria acuática, lo que genera niveles de mercurio relativamente altos en peces consumidos por humanos. Sólo se absorbe 0.01% del mercurio elemental ingerido, pero el metilmercurio es absorbido casi al 100% por el tracto gastrointestinal. La vida media biológica del mercurio es de 60 días.

Toxicidad: La exposición prolongada a los compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio puede dañar de forma permanente el cerebro, los riñones y el feto en desarrollo. El sistema nervioso parece ser el blanco más

vulnerable en exposición a bajos niveles de compuestos de mercurio metálico y orgánico. Los compuestos de metilmercurio son posibles carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B de la IARC).

1.7.5.13. Compuestos orgánicos de plomo

Nombre químico: Los compuestos de alquilplomo pueden reducirse a tetrametilplomo (TMP, $Pb(CH_3)_4$) y tetraetilplomo (TEP, $Pb(C_2H_5)_4$).

Número de registro CAS: 75-74-1 (TMP) y 78-00-2 (TEP).

Propiedades: Solubilidad en agua: 17.9 mg/L (TMP) y 0.29 mg/L (TEP) a 25° C; presión de vapor: 22.5 y 0.15 mm Hg a 20° C para el TMP y el TEP, respectivamente.

Descubrimiento/Usos: El tetrametilplomo y el tetraetilplomo se utilizaron profusamente como aditivos antidetonantes en gasolina. Las liberaciones de TMP y TEP se redujeron enormemente con la introducción de la gasolina sin plomo, a fines de los años 1970, primero en los Estados Unidos, y luego en otras partes del mundo. Sin embargo, aún existe la gasolina con plomo, que contribuye a la emisión de TEP y, en menor grado, de TMP, en el medio ambiente. También se siguen reciclando y fabricando baterías con plomo.

Persistencia/destino: En el aire o en soluciones acuosas se produce desalkilación, generando las formas menos alkiladas y, por último, plomo inorgánico. Sin embargo, hay escasa evidencia de que en ciertas circunstancias pueda efectuarse la metilación natural de sales de plomo. Se ha observado bioacumulación mínima de TEP en camarones (650x), mejillones (120x) y platija(130x) y de TMP en camarón (20x) , mejillón (170x), y platija (60x).

Toxicidad: La toxicidad aguda de TEL y TML es moderada en mamíferos y alta en biota acuática. La LD50 (rata, oral) de TEL es de 35 mg Pb/kg y de 108 mg Pb/kg para TML. La LC50 (peces, 96 horas) para TEL es de 0.02 mg/kg y para TML es de 0.11 mg/kg. Los compuestos orgánicos de plomo no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos por ser los datos insuficientes o incorrectos (Grupo 3 de la IARC)

1.8. RESUMEN

En el año 2000 se emprendió, en 12 regiones, el proyecto de evaluación de efectos ambientales y en la salud de las sustancias tóxicas persistentes (STP) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial del PNUMA. El informe que aquí se presenta es el informe de la Región de América Central y el Caribe (Región X), que comprende 23 países y un total de 136 millones de habitantes en las Antillas Mayores, las islas del este y del sur de las Antillas Menores, las Bahamas, Belice, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, la Guyana, Honduras, Nicaragua, Panamá, Surinam y Venezuela.

El proyecto señala las fuentes de STP más importantes, determina su impacto en el medio ambiente y la salud humana, evalúa su transporte transfronterizo, estima las causas que originan los problemas relativos a las STP, estudia la capacidad regional para resolver esos problemas, establece prioridades regionales en lo relativo a STP, medio ambiente y salud, y contribuya a definir prioridades globales en cuanto a STP.

La estructura del proyecto está compuesta por un Director de proyecto de la División de Productos Químicos del PNUMA, en Ginebra, un Grupo Directivo, Coordinadores regionales y Equipos regionales. El componente regional se ocupa de los doce contaminantes orgánicos persistentes (COP) incluidos en el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de 2001: aldrina, endrina, dieldrina, clordano, DDT, toxafeno, mirex, heptacloro, hexaclorobenceno, bifenilos policlorados (PCB), dibenzodioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF) y una lista regional de compuestos: atrazina, endosulfán, pentaclorofenol, éteres de bifenilo polibromado, lindano, compuestos orgánicos de plomo, compuestos orgánicos de mercurio, compuestos orgánicos de estaño, fenoles policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), parafinas de cadena corta, ftalatos, octilfenoles y nonilfenoles.

Se aprovecharon datos ya existentes sobre fuentes, concentraciones ambientales, efectos en la salud y el medio ambiente. En los talleres en los que participaron representantes de diversos países se definieron las

prioridades regionales respecto a los compuestos y las acciones. La mayoría de los países de la Región X dependen en gran medida de la agricultura, pero la minería, el turismo y la manufactura son sectores importantes en algunos de ellos. La distribución de la producción por sectores determina el patrón de uso de STP, pero una parte de la carga de contaminantes proviene del exterior de la región X.