

Contaminantes

## Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables

### Principales consideraciones

- Las sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables (STPB) son sustancias químicas que se descomponen lentamente en el medio ambiente, se acumulan en los seres humanos y otras especies y son tóxicas. Aunque sólo un número reducido de STPB recibe actualmente atención, es posible que se identifiquen más mediante las actividades de investigación en curso.
- Las STPB pueden emitirse de modo intencional (el caso de los plaguicidas) o sin que medie intención (por ejemplo, en la combustión o como subproductos industriales). Algunas de estas sustancias se dispersan en todo el mundo mediante las corrientes de aire y otras rutas ambientales, lo que genera contaminación incluso en zonas lejanas de sus puntos de origen.
- No se dispone de datos completos de biomonitoreo para toda América del Norte, pero algunos estudios locales y nacionales han medido los niveles de STPB en los seres humanos y en distintas especies de vida silvestre. Las implicaciones de estos hallazgos se están investigando en los tres países.
- Los niveles de algunas STPB se han reducido mediante la eliminación o reducción de las emisiones y la adopción de alternativas, pero los tiempos de recuperación son lentos debido a que estas sustancias no se descomponen en subproductos inofensivos con facilidad o rápidamente.

Las *sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables* (STPB) son sustancias químicas que no se degradan con facilidad en el medio ambiente. Las STPB por lo general se acumulan en el tejido adiposo y se metabolizan con lentitud; de hecho, su concentración en los organismos aumenta conforme se avanza en la cadena alimentaria. Algunas de estas sustancias se han vinculado con efectos adversos para la salud humana y de los animales.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

Hay pruebas significativas de que las STPB perjudican en el largo plazo la salud humana y el medio ambiente. La evidencia ha generado una respuesta internacional al problema (véase el recuadro).

#### Las STPB y la salud humana

En América del Norte los humanos están expuestos a diversos contaminantes ambientales, entre ellos algunas STPB. Varios estudios han vinculado estas sustancias con diversos efectos perjudiciales en los seres humanos, como afecciones del sistema nervioso, trastornos reproductivos y del desarrollo, cáncer y problemas genéticos. Algunas de las STPB mimetizan las hormonas, con posibles alteraciones en las características sexuales y otras funciones hormonales.

#### Las STPB y la salud de animales y plantas

Al igual que los seres humanos, los animales y las plantas están expuestos a las STPB en el medio ambiente a través del aire, el agua y los alimentos. Cuanto más alto figuren en la cadena alimentaria, más factible resulta que los animales estén expuestos a niveles tóxicos de las STPB; tal es el caso de los mamíferos marinos, las aves de presa y algunas especies de peces. Las advertencias sobre consumo de pescado emitidas por las autoridades en torno de los Grandes Lagos y en otros lugares tienen por objeto proteger a las personas de los riesgos de consumir pescado contaminado. El mercurio, los bifenilos policlorados (BPC), el clordano, las dioxinas y el DDT —todos ellos STPB que por lo general contaminan a los peces— se acumulan en el tejido de los peces en concentraciones miles de veces más altas que las del agua. Asimismo, las STPB

### Respuesta internacional a las STPB

Junto con otras 151 naciones, Canadá, Estados Unidos y México son signatarias del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (de mayo de 2001). Canadá y México ratificaron el Acuerdo, pero Estados Unidos no lo ha hecho.

El Convenio identificó doce STPB orgánicas para control, correspondientes a tres categorías:

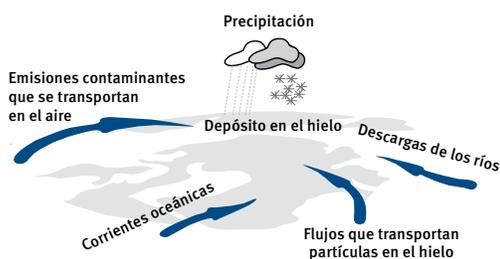
**Plaguicidas:** aldrín, clordano, DDT, dieldrín, endrín, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), mirex y toxafeno.

**Sustancias químicas industriales y subproductos no intencionales:** HCB y BPC.

**Subproductos no intencionales:** dioxinas y furanos.

Muchas de las doce sustancias químicas cubiertas por el Convenio de Estocolmo ya no se producen, pero persisten en el medio ambiente. Aunque sólo un número reducido de STPB recibe hoy día atención, es posible que se identifiquen más mediante actividades de detección continuas.

## Rutas de los contaminantes hacia el Ártico



Fuente: Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico (*Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP*), 2002.

pueden permanecer en los sedimentos durante años, convirtiéndose en fuente de contaminación para especies que habitan el lecho marino y que posteriormente alimentan a otros depredadores (véase la ilustración de la bioacumulación y la biomagnificación).

La persistencia de estas sustancias en el medio ambiente es considerable. El clordano se prohibió en Estados Unidos en 1988, pero incluso en 2006 se publicaron 105 advertencias respecto del consumo de pescado debido a la presencia de este compuesto. De igual modo, el DDT quedó prohibido desde 1975, pero en 2006 se publicaron 84 advertencias sobre consumo de pescado relacionadas con esta sustancia en Estados Unidos.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Las STPB se emiten al medio ambiente de manera intencional y no intencional. Una vez en el ambiente, algunas pueden dispersarse con rapidez a lo largo y ancho de regiones específicas y a través de las fronteras internacionales, tanto en América del Norte como en el resto del mundo. Estas sustancias son de particular preocupación para América del Norte debido a que se les puede encontrar en áreas de particular vulnerabilidad ambiental, como el Ártico (véase el diagrama de las rutas), los Grandes Lagos y el Golfo de México.

#### Fuentes de STPB

Todos los sectores industriales del mundo emplean sustancias químicas, pero ciertas actividades económicas son más proclives a emitir STPB. Estas emisiones pueden ser intencionales —como los plaguicidas, con impurezas de STPB— o no intencionales, como subproductos de la combustión (por ejemplo, dioxinas y furanos).

Otras STPB se siguen emitiendo como subproductos de actividades industriales. Las emisiones de mercurio provenientes de la generación de energía eléctrica en carbóelctricas, por ejemplo, han crecido desde el inicio de la

era industrial, a mediados del decenio de 1800. Las tasas de depósito de mercurio de la atmósfera han aumentado mundialmente de 200 a 400 por ciento desde la revolución industrial, con lo que en todo el mundo se ha incrementado el potencial de las repercusiones del mercurio en la salud humana y de los ecosistemas.

#### Transporte

Una de las mayores preocupaciones en torno de algunas de las STPB es la facilidad con que pueden moverse en el medio ambiente. Estas sustancias se abren camino a zonas remotas al transportarse grandes distancias en una serie de “saltos” que entrañan un complejo ciclo de transporte, depósito y revolatilización al que se denomina, en su conjunto, “efecto saltamontes”. A la larga, las STPB se acumulan en las regiones frías, como el Ártico, mediante un proceso denominado “destilación mundial” (véase el diagrama).

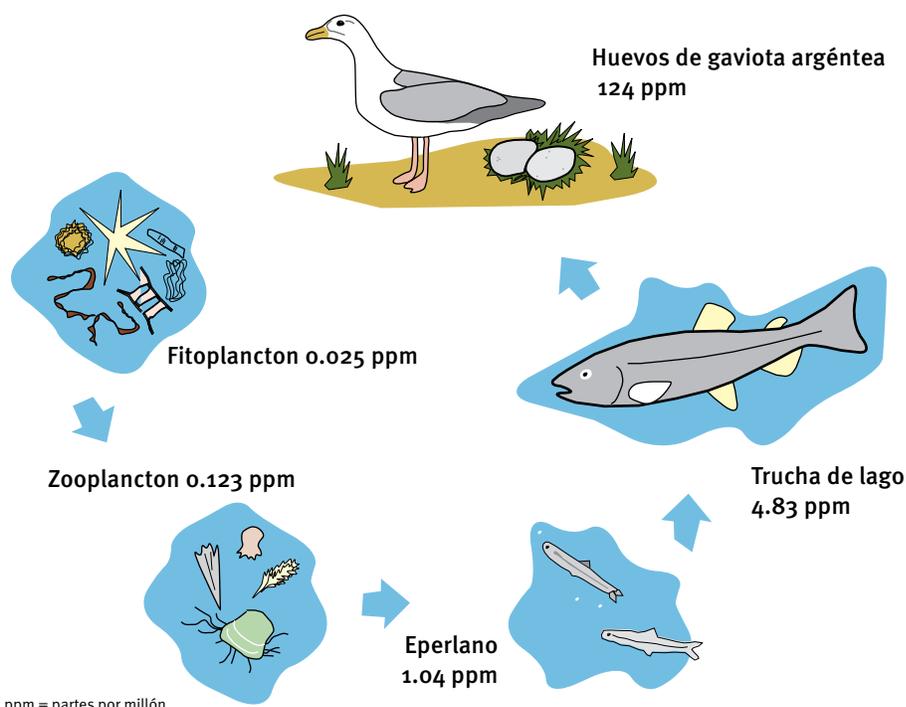
Como con frecuencia son relativamente volátiles, las STPB se pueden introducir en la atmósfera y ser transportadas por los vientos, en ocasiones a grandes distancias. A través de procesos atmosféricos, ya sea porque las moléculas son acarreadas en la precipitación o porque las partículas suspendidas se asientan, las STPB se depositan en los ecosistemas terrestres

o marinos, en donde se acumulan y pueden causar daño. A partir de estos ecosistemas pueden volver a evaporarse e ingresar otra vez en la atmósfera, viajando en última instancia de las zonas de temperaturas más cálidas a las regiones más frías. Cuando la temperatura baja, las STPB se condensan y salen de la atmósfera, muchas veces alcanzando concentraciones más altas en las regiones circumpolares y zonas de mayor altura debido a que ahí no hay la energía térmica suficiente para reiniciar el ciclo de evaporación. Mediante estos procesos algunas STPB pueden moverse miles de kilómetros desde sus fuentes de emisión hasta acumularse en latitudes polares. Además de las emisiones en la región, América del Norte se ve afectada también por la dispersión atmosférica de larga distancia de STPB provenientes de otras fuentes mundiales.

#### Biomonitoreo

Las poblaciones humanas expuestas a las STPB incluyen grupos de preocupación especial como los niños y los fetos en desarrollo. La población infantil es particularmente vulnerable a las sustancias tóxicas debido a su fisiología particular y a sus características de desarrollo y comportamiento. No se dispone de los datos de biomonitoreo necesarios para medir la presencia de las STPB en América del Norte en su conjunto, pero

### Cambios en la concentración de STPB conforme se asciende en la cadena alimentaria



ppm = partes por millón

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency, EPA*).

algunas conclusiones pueden derivarse a partir de estudios más específicos.

- En el Ártico canadiense, el Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico (*Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP*) determinó que los altos niveles de exposición en algunas comunidades de la zona pueden tener una influencia negativa en la salud humana. Aunque no hay todavía evidencia directa de efectos adversos en el estado de salud poblacional (mortalidad y morbilidad), existen razones de preocupación y el peso de todas las pruebas disponibles apunta a la necesidad de continuar reduciendo la exposición humana.
- En Estados Unidos, entre 1999 y 2002 alrededor de seis por ciento de las mujeres en edad reproductiva tuvieron 5,800 partes por millón de mercurio en la sangre o más. Se sabe que las concentraciones del metal deben estar por debajo de 5,800 partes por millón para no causar un daño apreciable. Con base en estos estudios y el número de nacimientos anuales en dicho país, se calcula que más de 300 mil recién nacidos cada año pueden tener un mayor riesgo de problemas de aprendizaje asociados con la exposición *in utero* al metilmercurio.
- En México, se midieron los niveles de plaguicidas organoclorados —que también son STPB— en el aire ambiente de Chiapas durante 2000–2001. La concentración de algunos de estos plaguicidas (DDT, clordano, toxafeno) fue alta comparada con los niveles de la región de los Grandes Lagos. Este hallazgo sugiere que el sur de México podría ser una fuente regional de este grupo de sustancias químicas. Niveles comparablemente altos han sido también

registrados en partes del sur de Estados Unidos, donde las fuentes posibles son las emisiones de suelos con antecedentes de contaminación (DDT, toxafeno) y el uso pasado de termiticidas (clordano). Los trabajadores agrícolas pueden correr riesgos por exposición a estas STPB.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables están vinculadas con la biodiversidad, el comercio internacional y el cambio climático.

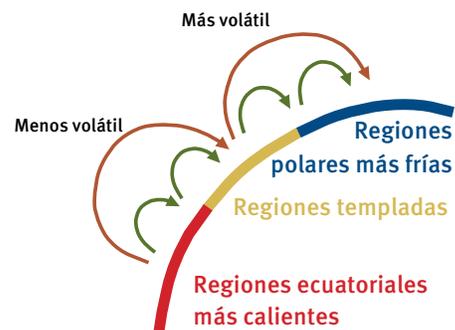
#### Biodiversidad

El efecto de las STPB en la diversidad biológica de América del Norte fue evidente por primera vez cuando halcones peregrinos, águilas y otros depredadores mayores comenzaron a desaparecer en los años setenta por exposición al DDT en la cadena alimentaria. Aunque estas especies de alta visibilidad se han recuperado gracias a intervenciones directas y a la prohibición de algunas de las STPB, es probable que otras especies puedan seguir sufriendo los efectos derivados de la presencia de tales sustancias en los ecosistemas de la región.

#### Comercio

El comercio internacional puede introducir STPB en América del Norte a pesar de los rigurosos esfuerzos por prevenir las emisiones internas. Los bienes de consumo y los productos vendidos en América del Norte están crecientemente manufacturados, cultivados o manejados de otra manera en naciones cuyos requisitos respecto de las STPB pueden diferir de los de la región. Un ejemplo es la importación de alimentos que han sido tratados con plaguicidas como DDT, aldrín y clordano, todavía usados en los países productores.

### Efecto saltamontes y destilación mundial



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*).

#### Cambio climático

En condiciones atmosféricas normales, el mercurio y algunas otras STPB emitidas por la quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales son transportados hacia el norte, donde en algún momento se asientan en el suelo o en las aguas de superficie. Así, por ejemplo, la región de bosques boreales del norte de Canadá y Alaska es receptora final de años de emisiones pasadas. Debido a que el cambio climático afecta los bosque y humedales de esta región, el mercurio previamente depositado en suelos fríos y húmedos puede volverse a emitir por medio de incendios descontrolados. En respuesta a las condiciones de mayor sequía en las regiones del norte, el suelo puede liberar su contenido de cientos de años de acumulación de mercurio, volviéndolo a liberar en la atmósfera. Se prevé que el incremento proyectado de incendios forestales en la región boreal debido al cambio climático genere un aumento en las emisiones atmosféricas de mercurio, con el consecuente aumento en la exposición en las cadenas alimentarias del norte. 🦋

### Industrias y procesos asociados con las STPB

Manufactura	Procesos térmicos	Ciertos productos con contenido de STPB	Procesos de reciclaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Producción de sustancias químicas orgánicas cloradas</li> <li>■ Producción de pulpa y papel</li> <li>■ Refinación petrolera y regeneración catalítica</li> <li>■ Producción de cloro mediante electrodos de grafito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sinterización de minerales para altos hornos</li> <li>■ Proceso secundario de chatarrametálica</li> <li>■ Hornos de cemento</li> <li>■ Proceso de minerales: cal, cerámica, vidrio, ladrillos</li> <li>■ Incineradores de residuos: municipales, peligrosos, médicos y clínicos</li> <li>■ Combustión de carbón y petróleo</li> <li>■ Vehículos y motores estacionarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aplicación de plaguicidas y herbicidas</li> <li>■ Uso de conservadores para madera, cuero y telas</li> <li>■ Uso y aplicación de solventes</li> <li>■ Procesos industriales de blanqueado</li> <li>■ Teñido y acabado de telas, lana y pieles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reciclaje de metales, plásticos y papel</li> <li>■ Aplicación en suelos, lodos y efluentes de aguas negras y residuales de la industria de papel</li> <li>■ Recuperación de solventes y aceites usados</li> <li>■ Madera tratada con pentaclorofenol</li> </ul>

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

## Estudio de caso – Sustancias tóxicas en huevos de águila pescadora: indicador de contaminantes en las cuencas hídricas Fraser y Columbia

El águila pescadora, ave migratoria consumidora de pescado, está expuesta a los contaminantes que se acumulan en las cadenas alimentarias acuáticas y, por ello, son buenos indicadores de la salud del ecosistema acuático.

Un estudio de monitoreo de largo término de los niveles de sustancias químicas en águilas pescadoras migratorias ha proporcionado información respecto de las STPB acumuladas en estas aves y el origen de las mismas. Los resultados sugieren preguntas importantes respecto de la exposición y la bioacumulación en seres humanos.

El águila pescadora migra entre América Latina y las cuencas hídricas Fraser y Columbia en el noroeste del Pacífico de América del Norte. Las STPB encontradas en el águila pescadora incluyen productos industriales organoclorados (dioxinas, furanos y BPC), plaguicidas organoclorados (metabolitos de DDT, dieldrín, clordano y toxafeno) y mercurio. En particular, el DDT, los BPC y las dioxinas y furanos están asociadas históricamente con problemas de reproducción y disminución de la población del águila pescadora.

Los investigadores concluyeron que algunos de los contaminantes tóxicos en el águila pescadora se originaron en los sitios

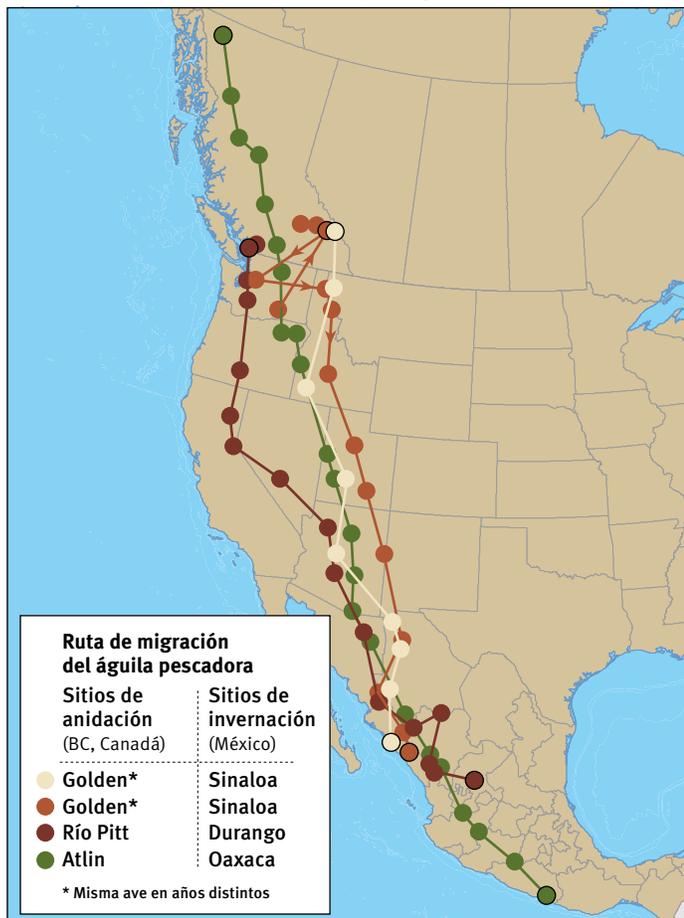
industriales que aún operan en las cuencas Fraser y Columbia y en lugares de industrias cerradas en donde sigue habiendo residuos. El resto de las sustancias se originaron en Asia y, quizás, en algunas fuentes de alimentos en los sitios de invernación del águila en América Latina.

El Servicio Canadiense de Vida Silvestre (*Canadian Wildlife Service*) ha recolectado, con apoyo de las respectivas dependencias mexicana y estadounidense, datos sobre las costumbres migratorias del águila pescadora. Se les dio seguimiento desde sus sitios de reproducción en la cuenca hídrica Fraser hasta áreas de agricultura intensiva en México y otros países de Centroamérica (véase el mapa).

De 1997 a 2004 la población del águila pescadora a lo largo de la parte baja del río Columbia aumentó de 94 a 225 nidos ocupados, una tasa anual de aumento de casi 14 por ciento. El crecimiento del índice de población se asoció con una tasa reproductiva mayor que en los años previos y concentraciones significativamente menores de la mayoría de plaguicidas organoclorados, BPC, dioxinas y furanos en los huevos. De hecho, los niveles observados de concentraciones en residuos de huevos en 2004 indicaron que en pocos de los nidos, si acaso algunos, la reproducción resultó adversamente afectada por la presencia de dichos plaguicidas. Ya en 1997-1998, el DDE —metabolito del DDT— estaba aún causando fallos en la reproducción en una parte de esta población. Sólo el mercurio mostró un incremento significativo en los huevos en dicho periodo, pero en 2004 las concentraciones se mantuvieron por debajo de las establecidas como peligrosas para las aves.

En la medida que el águila pescadora se alimenta de diversas especies de pesca deportiva, el monitoreo continuo de los niveles de contaminantes en esta especie funciona como alerta temprana respecto de sustancias tóxicas que pueden llegar a consumir los seres humanos.

### Telemetría por satélite de las rutas de migración del águila pescadora



Fuente: Adaptado de J. Elliott, D. P. Shaw y D. Muir, *Factors Influencing Domestic and International Sources of Chlorinated Hydrocarbons to Fish and Ospreys in British Columbia*, informe final (inédito) de la Iniciativa de Investigación sobre Sustancias Tóxicas (*Toxic Substance Research Initiative*), TSRI #224, Vancouver.



Águila pescadora.