



# PLÁSTICOS, SALUD Y UN PLANETA

UN LLAMADO PARA ESTABLECER NORMAS  
GLOBALES FUNDAMENTADAS EN CIENCIA

WWF es una organización independiente dedicada a la conservación, con más de 38 millones de seguidores y presencia en más de 100 países. Nuestra misión es detener la degradación del entorno natural del planeta y construir un futuro en el que las personas vivan en armonía con la naturaleza conservando la diversidad biológica mundial, garantizando que el uso de los recursos naturales renovables sea sostenible y promoviendo la reducción de la contaminación y el consumo desmedido.

## IMPRESIÓN

<b>Editorial</b>	WWF Alemania (fundación sin ánimo de lucro, representante legal: Meike Rothschädl), Reinhardtstraße 18, D-10117 Berlín
<b>Fecha</b>	Julio 2025
<b>Coordinación</b>	Franziska Bäckemo (WWF), Hanna Eberhard (WWF)
<b>Contacto</b>	hanna.eberhard@wwf.de
<b>Autores</b>	Adam Green (Type Ventures), Oilivia Hallett (Type Ventures), Prof. Dr. Stefan Krause (Facultad de Geografía, Ciencias de la Tierra y Ambientales, Universidad de Birmingham y Birmingham Plastics Network) y Meredith Soward (WWF)
<b>Editorial</b>	Laura Collacott
<b>Editores Edición en Español</b>	Susan Díaz (WWF), Andrés Silva (WWF)
<b>Colaboradores</b>	John Duncan (WWF), Laura Griestop (WWF), May Hokan (WWF), Huy Ho (WWF), Zaynab Sadan (WWF) y Rebecca Tauer (WWF)
<b>Revisión</b>	Prof. Iseult Lynch (Facultad de Geografía, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Birmingham)
<b>Diseño</b>	Epoq Studio   <a href="http://epoqstudio.com">epoqstudio.com</a>

### Fotografía

Portada: Getty Images/Robert Podlaski; p. 2/3: WWF-UK/Sam Hobson; p. 4: Getty Images/panaramka; p. 6: Getty Images/epicurean; p. 7: WWF/Greg Armfield; p. 8: Getty Images/Tinnakorn Jorruang; p. 9: Getty Images/Margot Cavin; p. 11/15: WWF/Vincent Kneefel; p. 16: Getty Images/Olha Romaniuk; p. 18: Marlon Trottmann/panaramka; p. 22: WWF/Vincent Kneefel; p. 23: WWF/Markus Winkler; p. 25: WWF-UK/Warren Smart; p. 26: WWF/Nick Garbutt; p. 28: WWF/Markus Winkler; p. 29: Unsplash/Joshua Lawrence; p.30: WWF/Markus Winkler; p. 31: Unsplash/Jas Min; p. 35: Getty Images/vovashevchuk; p. 37: Unsplash/Zuzanna Szczepanska; p. 39: Unsplash/billow926; p. 42: Unsplash/Zoshua Colah; p. 44: Getty Images/Zarina Lukash

En colaboración con



UNIVERSITY OF  
BIRMINGHAM



Birmingham Institute  
for Sustainability  
and Climate Action

© 2025 WWF Alemania, Berlín.

La reproducción total o parcial de esta publicación solo se permite con el consentimiento previo del editor.





# ÍNDICE

1. RESUMEN	05
<hr/>	
2. INTRODUCCIÓN	09
<hr/>	
3. COMPRENDIENDO LOS RIESGOS SANITARIOS DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS	12
3.1 Cómo llegan los microplásticos al medio ambiente	12
3.2 El coste ecológico de la contaminación por plásticos	13
3.3 Los plásticos y la salud humana	15
<hr/>	
4. DE LA EVIDENCIA A LA ACCIÓN: PRIORIDADES POLÍTICAS PARA SUSCITAR EL CAMBIO	24
<hr/>	
5. APÉNDICE TÉCNICO	32
5.1 Ftalatos	33
5.2 Bisfenoles	36
5.3 Alquilfenoles y estabilizantes para UV	38
5.4 Sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS)	40
5.5 Retardadores de llama	41
5.6 Metales, metaloides y compuestos metálicos	43
<hr/>	
BIBLIOGRAFÍA	45
<hr/>	



Los micro y nanoplásticos y las sustancias químicas que contienen están en el aire, el agua y los alimentos, lo cual constituye un riesgo severo para la salud humana, animal y medioambiental. Es urgente establecer reglas globales para abordar esta crisis creciente.

# 1. RESUMEN

La contaminación por plásticos no sólo se trata de una cuestión medioambiental, sino de una crisis sanitaria mundial en aumento. Los plásticos se están filtrando en los ecosistemas acuáticos y terrestres, y están perjudicándolos. Por ende, los microplásticos y nanoplásticos (MNP) en la actualidad se están introduciendo en nuestros organismos a la vez que, exponen a las personas y a los animales en todo el mundo a riesgos potencialmente graves para la salud. Se encuentran en el aire que respiramos, en el agua que bebemos y en la comida que ingerimos. Los posibles efectos negativos en los sistemas orgánicos principales del cuerpo humano son de amplio alcance y duraderos, y existen pruebas de su gravedad que siguen apareciendo.

Esta contaminación por partículas microscópicas de plástico no sólo constituye una amenaza física, sino también una amenaza química. Además de las partículas de plástico en sí, los aditivos tóxicos y otras sustancias químicas añadidas a los plásticos guardan cada vez, más relación con una gran variedad de efectos sobre la salud, desde la infertilidad y el cáncer hasta enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y trastornos del desarrollo infantil.

**Para entender los impactos a la salud causados por la contaminación por plásticos se requiere un enfoque de *Una sola salud* que reconozca las interconexiones profundas entre la salud humana, animal y medioambiental.**

Estos daños no se limitan a los humanos, también quedan reflejados en todos los ecosistemas, en los que los contaminantes plásticos y las sustancias químicas asociadas dañan la fauna y el ganado, lo cual provoca alteraciones biológicas por medio de mecanismos parecidos a los observados en humanos. Comprender los efectos que tiene la contaminación por plásticos en la salud exige adoptar un planteamiento de *Una sola salud* la cual reconoce la gran interconexión entre la salud humana, animal, y medioambiental. Los estudios realizados en humanos y animales han sido fundamentales a la hora de revelar el modo en que los plásticos perjudican, al tiempo que han recalado amenaza sistémica que supone la contaminación por plásticos para salud de todos los seres vivos y los ecosistemas que compartimos.

Las normativas mundiales y nacionales todavía tienen que ponerse al día con las nuevas pruebas científicas. Aunque las investigaciones siguen evolucionando, numerosos estudios existentes ya muestran la conexión consistente y preocupante entre muchos aditivos plásticos y efectos graves en la salud. Entre los más preocupantes figuran los alteradores endocrinos como los pftalatos y bisfenoles, que interfieren en las hormonas reproductivas y el desarrollo cerebral, y las PFAS (sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas) — conocidas como «productos químicos eternos» —, que están vinculadas con el cáncer, la inmunosupresión y las enfermedades metabólicas. Estos riesgos resultan especialmente preocupantes durante el embarazo y la infancia, ya que una exposición temprana puede ocasionar efectos duraderos e incluso multigeneracionales en la salud.

Este corpus creciente de pruebas debe servir de base para elaborar una legislación basada en ciencia sólida para minimizar la exposición a los MNP y a las sustancias químicas tóxicas que contienen los plásticos. La adopción del principio de precaución —actuar siempre que se detecten riesgos creíbles, incluso ante la ausencia de certidumbres científicas absolutas— resulta fundamental para evitar los daños a largo plazo. El Protocolo de Montreal es un precedente poderoso: gracias a la eliminación gradual de las sustancias que agotan la capa de ozono (clorofluorocarburos o CFC), con base en pruebas científicas emergentes, los gobiernos previnieron millones de casos de cáncer de piel<sup>1</sup> y facilitaron la recuperación de la capa de ozono.

La contaminación por plásticos atraviesa fronteras. La fabricación, uso y desecho de plásticos conforman una cadena de valor global, y la contaminación que se deriva de ello, como los MNP y las sustancias químicas relacionadas con el plástico, se extiende por los continentes.

Abordar esta crisis compleja e interconectada requiere una acción mundial coordinada: ningún país puede resolverla por sí mismo. Dada la presencia continua de plásticos en nuestra vida diaria y la contaminación generalizada por plásticos, se necesita con urgencia una acción mundial —basada en las investigaciones científicas más recientes y en el enfoque de Una sola salud—. Un enfoque de este tipo puede proporcionar una respuesta armonizada a escala mundial para afrontar la crisis de los plásticos, no solo con la protección de nuestros ecosistemas y biodiversidad, sino también con la reducción considerable de los riesgos para la salud ahora y en el futuro.



Como la necesidad de un tratado global jurídicamente vinculante para acabar con la contaminación por plásticos va cobrando impulso, es vital que los efectos en la salud ocupen un lugar destacado en las negociaciones. WWF insta a los gobiernos y negociadores a aprovechar este momento y a adoptar un tratado global de plásticos efectivo y ambicioso que proteja a la población y al planeta. Los gobiernos deben negociar un tratado que genere un verdadero cambio. Este paso supone imponer prohibiciones y retiradas progresivas a escala mundial de los productos plásticos más perjudiciales y evitables y las sustancias químicas alarmantes que contienen.

Cuanto más nos retrasemos, más elevados serán los costos. Un tratado que aborde la cuestión de la contaminación por plásticos en su origen resulta fundamental para el medio ambiente, pero también indispensable para la salud pública. Ha llegado el momento de emprender acciones audaces y coordinadas a escala global.



**EL TRATADO DEBE INCLUIR AL MENOS:**

- 

**1. Prohibiciones y retiradas progresivas a escala global** de los productos plásticos más perjudiciales y evitables y las sustancias químicas preocupantes
- 

**2. Requisitos armonizados para el diseño seguro y circular de productos plásticos** y sistemas que permitan disfrutar de una economía circular no tóxica en la práctica y a gran escala
- 

**3. Medidas para alinear los flujos financieros y movilizar recursos** para lograr una transición equitativa y justa
- 

**4. Mecanismos para reforzar** y adaptar medidas a lo largo del tiempo

### ACERCA DE ESTE INFORME

Este informe se ha elaborado en colaboración con la Universidad de Birmingham partiendo de una combinación de conocimientos científicos y políticos. La Universidad de Birmingham dirigió la investigación y la revisión de las pruebas, a la par que WWF contribuyó a la dirección estratégica y a la elaboración de políticas relevantes para lanzar iniciativas globales encaminadas a acabar con la contaminación por plásticos.

Se basa en una revisión exhaustiva de los datos científicos más recientes sobre los plásticos y la salud. Se inspira en un conjunto amplio de artículos de investigación evaluados por expertos y recursos científicos —desde estudios sobre humanos y animales a revisiones sistemáticas, estudios observacionales, y análisis de expertos—, así como apreciaciones de organismos respetables, como la Organización Mundial de la Salud y la Sociedad de Endocrinología.

La base de datos sobre los microplásticos y nanoplásticos (MNP) y las sustancias químicas preocupantes relacionadas con el plástico evoluciona rápidamente. Las investigaciones iniciales sobre los plásticos y la salud humana se centraron principalmente en la exposición laboral, en particular en los efectos de los aditivos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores. Desde entonces, la atención científica se ha ampliado de forma considerable. En las últimas décadas, se incrementó el número de estudios que investigan los efectos de los microplásticos y los productos químicos relacionados con el plástico sobre la salud en la población general. Muchos de estos estudios, en especial en el ámbito de la ecotoxicología, han empleado concentraciones relativamente altas a fin de detectar posibles mecanismos perjudiciales. No obstante, existe un corpus creciente de trabajos que está comenzando a utilizar concentraciones realistas desde la perspectiva medioambiental. A día de hoy, determinar lo que constituye exposiciones «realistas» sigue siendo complejo. Como la supervisión sigue siendo inconsistente e incompleta,



la variabilidad real de las concentraciones ambientales de los MNP y los picos resultantes en la exposición humana se desconoce en gran parte.<sup>2,3</sup>

Demostrar la causalidad en la salud pública rara vez es fácil y los plásticos no son una excepción. Casi la totalidad de la población se ve ahora expuesta a los MNP y los aditivos plásticos, hecho que dificulta la identificación de grupos de control no expuestos o referencias claras para evaluar los efectos en la salud. Esta complejidad implica que los investigadores recurran a una combinación de métodos, como los modelos de animales, la correlación estadística, y los estudios observacionales, a la hora de crear un panorama general de los riesgos.

Aunque este documento refleja el estado actual de los conocimientos científicos, no se trata de una revisión exhaustiva. No obstante, pese a estas limitaciones, las conclusiones predominantes de los estudios en todas las disciplinas y geografías ofrecen una base convincente para emprender medidas políticas preventivas.

Este informe tiene por objeto plasmar la ciencia compleja y en constante evolución en conocimientos claros para los responsables políticos, con énfasis en los efectos de los MNP en la salud y seis grupos clave de sustancias químicas que se utilizan habitualmente en productos de plástico. Describe la forma en que estas sustancias se introducen en el cuerpo humano, las implicaciones directas para la salud y los mecanismos biológicos a través de los cuales causan daño, y los riesgos más amplios para la salud animal y medioambiental. En la conclusión se exponen recomendaciones políticas basadas en la importancia de los conocimientos científicos actuales.

## 2. INTRODUCCIÓN

**Debido al uso generalizado de los plásticos, los MNP son casi omnipresentes y se encuentran en todas partes en el planeta, desde los océanos y montañas hasta en el aire, los espacios internos, los alimentos y el agua potable.**

Los plásticos están sumamente integrados en la vida moderna, pero su presencia cada vez mayor en nuestro medio ambiente y nuestro organismo es motivo de creciente preocupación. La contaminación por plásticos no solo está dañando el medio ambiente, sino que se reconoce cada vez más como una grave amenaza para la salud humana y de los ecosistemas. Debido al uso generalizado de los plásticos, los MNP están presentes casi siempre y se encuentran en todas las partes del planeta, desde los océanos y las montañas<sup>4</sup> hasta el aire<sup>5, 6</sup> y los entornos interiores,<sup>7, 8</sup> los alimentos y el agua potable.<sup>9, 10, 11, 12</sup> Desde los microplásticos que se encuentran en nuestros alimentos y en el agua hasta los aditivos tóxicos que se liberan de los productos plásticos, las implicaciones para la salud son cada vez más claras.

La exposición a la contaminación por plásticos es mayormente involuntaria y casi universal. Los microplásticos y nanoplásticos pueden entrar en el cuerpo humano a través de acciones tan inevitables como respirar aire y beber agua. Durante décadas se ha ido acumulando un legado extenso de contaminación por plásticos en el medio ambiente, hecho que ha ido agravando los niveles de exposición e intensificando los riesgos para la salud humana y ecológica.

Este artículo presenta los últimos avances científicos para examinar qué repercusiones tiene la exposición a los MNP y las sustancias químicas asociadas a ellos en la salud humana, animal y medioambiental. Analiza cómo entran en el organismo estas partículas y sustancias químicas, sus orígenes y lo que ocurre una vez dentro, a la vez que pone de relieve los efectos más preocupantes para la salud y establece recomendaciones políticas claras para actuar. El apéndice técnico detallado ofrece un examen pormenorizado de las pruebas en materia de salud de seis grupos principales de sustancias químicas relacionadas con los plásticos. Aunque muchas de estas sustancias químicas no son exclusivas de los plásticos, estos constituyen una fuente importante y creciente de exposición por su uso generalizado, su persistencia en el medio ambiente<sup>13</sup> y su capacidad de desplazarse por el aire, los océanos y otras vías transfronterizas.

La reducción de la contaminación por plásticos es, por tanto, fundamental para disminuir la carga tóxica general sobre las personas y el planeta y mitigar sus consecuencias sanitarias y ecológicas de largo alcance.

Para comprender plenamente estos riesgos, el artículo adopta el enfoque de investigación Una sola salud en el que tiene en cuenta la salud humana y animal a través de un marco integrador que reconoce la variedad de formas en que estos factores están interconectados. Debido a estas interconexiones, los estudios con animales han ayudado a esclarecer cómo la exposición al plástico puede afectar a la salud humana, y los hallazgos sobre los ecosistemas nos ayudan a entender cómo y por qué se produce esta exposición.



## ¿EN QUÉ CONSISTE *UNA SOLA SALUD* Y POR QUÉ ES RELEVANTE?

*Una sola salud*<sup>14</sup> conforma un concepto integrado y unificador que pretende equilibrar de forma sostenible y optimizar la salud de las personas, los animales, y los ecosistemas. En su planteamiento, reconoce que la salud de los seres humanos, la fauna doméstica y salvaje y el medio ambiente están íntimamente relacionados y son interdependientes.

Las iniciativas de conservación dirigidas a esta intersección tienen la capacidad de mejorar la salud humana por medio del refuerzo de la resiliencia de la fauna y los ecosistemas. Este planteamiento puede prevenir, predecir, detectar y responder a las amenazas mundiales para la salud y permitir el desarrollo de nuevas ideas que aborden las causas profundas y creen soluciones sostenibles a largo plazo. Por tanto, resulta idóneo para abordar los retos interconectados de la contaminación por plásticos y sus repercusiones en la salud.

El planteamiento está experimentando una creciente aceptación en los marcos normativos globales. Por ejemplo, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) incorpora de forma expresa *Una sola salud* en el Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal y su Plan de acción mundial sobre biodiversidad y salud, adoptado en la COP 16, hecho que sentó un precedente importante para usarlo en futuros acuerdos internacionales sobre medio ambiente.

Aunque el presente artículo se centra a propósito en los riesgos que plantean los MNP y los aditivos plásticos, se ha de reconocer que los plásticos suponen un peligro para la salud a lo largo de todo su ciclo de vida. Desde la extracción de combustibles fósiles y la producción química hasta la fabricación, el uso y la eliminación, cada etapa conlleva un posible perjuicio para las personas y para el medio ambiente, en particular para los trabajadores y las comunidades de primera línea expuestos a niveles más elevados de contaminación.

De igual forma, es importante reconocer que algunos productos de plástico aportan beneficios cruciales en diversos contextos, especialmente en medicina y seguridad. Este artículo no aboga por prohibiciones generales, sino que pretende destacar la complejidad y anima a adoptar un enfoque más específico para eliminar los productos de plástico y las sustancias químicas con alto riesgo de perjudicar la salud humana y el medio ambiente.



La contaminación por plásticos está asociada a un rango amplio de impactos a la salud: desde daños a las células hasta interrupciones hormonales. El enfoque de *Una sola salud* ayuda a explicar estos impactos interconectados y la necesidad de encontrar soluciones sistémicas para proteger la salud humana.



degradan o fragmentan con el paso del tiempo. Los productos de uso cotidiano— desde envases y textiles hasta alfombras y mobiliario<sup>16, 17, 18</sup>— liberan MNP en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida. En algunos casos, los MNP primarios, fabricados a escala microscópica, se añaden intencionadamente a los productos de consumo, como los cosméticos, una práctica que cada vez está más restringida por normativas nuevas.

## 3.2 EL COSTE ECOLÓGICO DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS

**Los animales marinos a menudo confunden los plásticos con alimento. Un estudio encontró evidencias de que más del 56 % de los animales marinos y 40 % de las aves marinas han ingerido plásticos que probablemente liberan MNP en sus cuerpos.**

Los microplásticos y nanoplasticos ya causan daños extensos a la naturaleza. En el medio marino, la contaminación por MNP es una amenaza bien documentada la cual se encuentra en los intestinos de mamíferos marinos, aves marinas, tortugas<sup>19</sup>, y peces.<sup>20</sup> Los animales marinos suelen confundir el plástico con comida. Un estudio demostró que más del 56 % de los animales marinos y el 40 % de las aves marinas han ingerido plástico, lo que probablemente libera MNP en sus cuerpos, mientras que los organismos más pequeños, como el plancton, pueden ingerir MNP junto con las partículas diminutas que consumen como alimento.<sup>21, 22</sup> Una vez ingeridos, los MNP pueden desplazarse por otras partes del cuerpo y transferirse a través de las redes alimentarias, con numerosas consecuencias para la salud, como cambios en la absorción de alimentos, repercusiones fisiológicas, cambios de comportamiento y mortalidad<sup>23</sup>.

Los riesgos en la tierra también son cada vez más evidentes. Los MNP alteran la salud y el comportamiento de los organismos del suelo que son esenciales para el funcionamiento del ecosistema y la producción de alimentos. Los estudios han demostrado que los microplásticos de polietileno (PE) pueden dañar el sistema inmunitario de las lombrices de tierra, los microplásticos de cloruro de polivinilo (PVC) restringen el movimiento de los colémbolos (criaturas parecidas a insectos que desempeñan una función importante en la descomposición de la materia orgánica del suelo), y las partículas de tereftalato de polietileno (PET) causan daños oxidativos en los ascáridos.<sup>24</sup> Todos estos organismos desempeñan un papel fundamental en la salud del suelo y son piezas clave de la cadena alimentaria<sup>25</sup>, lo que implica que los efectos de la contaminación por plásticos se extienden hasta lo más profundo de los sistemas alimentarios y el funcionamiento de los ecosistemas.

Los plásticos también pueden liberar sustancias químicas nocivas en el medio ambiente, con consecuencias graves para la fauna y el funcionamiento de los ecosistemas. Los retardadores de llama, que suelen proceder de los plásticos, se han detectado en osos polares, chimpancés y pandas rojos.<sup>26</sup> Los efectos documentados de este grupo concreto de sustancias químicas incluyen disfunciones tiroideas en osos polares, alteraciones del tamaño del corazón y el cerebro en cernícalos americanos e implicaciones reproductivas e inmunitarias



en orcas.<sup>27</sup> Incluso los microorganismos se ven afectados. El *prochlorococo* —la bacteria fotosintética más abundante del océano y una de las principales productoras de oxígeno<sup>28</sup>— muestra un crecimiento y una capacidad fotosintética reducidos<sup>29</sup> cuando se ve expuesta a sustancias químicas derivadas del plástico. Por tanto, la alteración de estos microbios puede desestabilizar los ciclos globales del carbono y el oxígeno y provocar efectos en cascada para la salud planetaria.

## 3.3 LOS PLÁSTICOS Y LA SALUD HUMANA

Cada vez está más claro que los plásticos que dañan la fauna también constituyen una amenaza para la salud humana. Los MNP, junto con las sustancias químicas añadidas a los plásticos durante su fabricación, se encuentran en el cuerpo humano, desde los pulmones hasta nuestro torrente sanguíneo. Las consecuencias pueden ser importantes.

Los estudios sobre la repercusión toxicológica de las sustancias relacionadas con el plástico, como los bisfenoles, los ftalatos y los retardadores de llama, han relacionado estas sustancias químicas con una serie de enfermedades, entre ellas:

- cánceres hormonodependientes (incluyendo los de mama y de testículo)
- reducción de la fertilidad y trastornos reproductivos
- afecciones respiratorias crónicas como el asma
- enfermedades cardiovasculares como cardiopatías e ictus
- enfermedades metabólicas como la diabetes y la obesidad
- enfermedades neurológicas como el TDAH, el autismo y la demencia

Estos efectos amplios se deben a la forma en que las partículas de plástico y sus aditivos químicos interactúan con el organismo. Por ejemplo, las partículas de plástico pueden transportar aditivos químicos, lo que aumenta su biodisponibilidad y facilita su penetración en células y tejidos.

En los siguientes apartados se analizan estas dos fuentes principales de daños: en primer lugar, los efectos físicos de las propias partículas de plástico y, en segundo lugar, los riesgos para la salud relacionados con las sustancias químicas que se emplean en los plásticos.

FIGURA 2:

Los químicos y micro y nanoplasticos entran en la naturaleza y el cuerpo humano por distintas vías, casi siempre invisibles al ojo humano



# PROLIFERACIÓN SILENCIOSA: Cómo el plástico amenaza la salud humana y medioambiental

#### EL DAÑO INVISIBLE: DE QUÉ MANERA AFECTAN LOS MICROPLÁSTICOS AL CUERPO HUMANO

Una vez liberados en el medio ambiente, los MNP pueden ser inhalados, ingeridos o pueden introducirse en la piel.<sup>30</sup> Dentro del organismo, pueden ocasionar un daño grave.

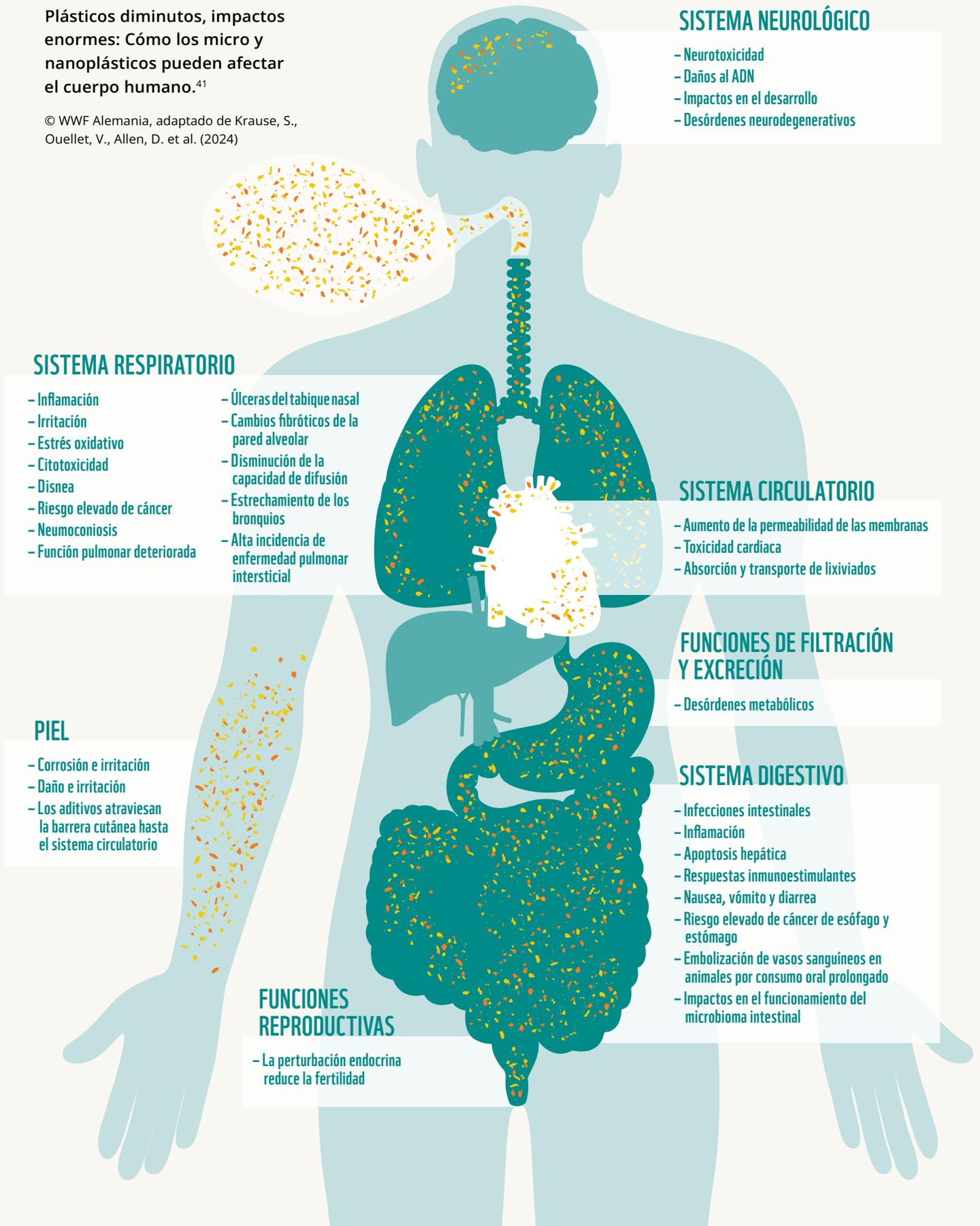
En primer lugar, los MNP, como materiales biológicamente extraños y no biodegradables, pueden provocar respuestas inflamatorias, desencadenar respuestas inmunitarias descompensadas, alterar la función celular y dañar los tejidos<sup>31</sup> simplemente con su presencia física. Los nanoplásticos son especialmente preocupantes por su capacidad para atravesar las barreras biológicas, penetrar profundamente en tejidos y órganos y acumularse en el organismo. Estas partículas se han detectado en órganos vitales como los pulmones, el cerebro, el intestino y la placenta, así como en la sangre, la leche materna y las heces.<sup>32, 33, 34</sup>

La inhalación de MNP puede irritar e inflamar las vías respiratorias y los pulmones, lo que contribuye al aumento de problemas respiratorios y agrava las afecciones existentes como el asma o la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).<sup>35</sup> Nuevos datos indican que también pueden acumularse en las arterias, con lo cual se agrava la inflamación<sup>36, 37</sup> y posiblemente aumente el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares graves como un ataque cardíaco (infarto de miocardio), ictus,<sup>38</sup> y aterosclerosis, una enfermedad inflamatoria crónica causada por la acumulación de grasa en las arterias. Los estudios en humanos y ratones han demostrado que los nanoplásticos, como el poliestireno (PS), pueden provocar inflamación<sup>39</sup> e incluso la muerte celular.<sup>40</sup>



FIGURA 3:  
Plásticos diminutos, impactos enormes: Cómo los micro y nanoplasticos pueden afectar el cuerpo humano.<sup>41</sup>

© WWF Alemania, adaptado de Krause, S., Ouellet, V., Allen, D. et al. (2024)



En el aparato digestivo, se han encontrado microplásticos en las heces humanas y en el tejido del cáncer colorrectal,<sup>42, 43</sup> hecho que suscita preocupación sobre la función que desempeñan en la inflamación gastrointestinal y el desarrollo de tumores. La presencia de partículas de plástico en el cerebro humano<sup>44</sup> indica que pueden atravesar el torrente sanguíneo y llegar al cerebro. Es de mencionar que se han encontrado niveles más elevados de MNP en el cerebro de pacientes con demencia, lo que apunta a un posible vínculo con las enfermedades neurodegenerativas; un patrón que también se observa con otras partículas ultrafinas, tales como las procedentes de la combustión de los vehículos, de las que se sabe que atraviesan la barrera hematoencefálica y favorecen el deterioro cognitivo.

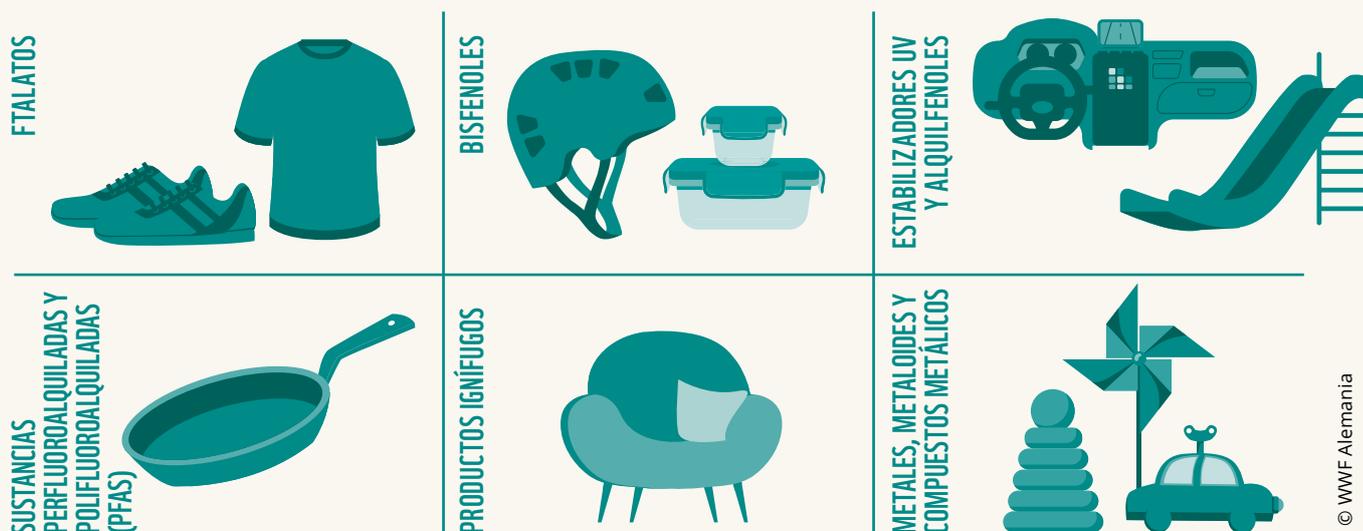
En segundo lugar, las partículas de plástico pueden transportar microbios nocivos, los que pueden actuar como vectores de patógenos e impulsar la resistencia bacteriana. Las superficies de numerosas partículas plásticas albergan las condiciones ideales para la colonización microbiana, donde pueden acumularse hongos, algas y bacterias. Estas partículas de plástico funcionan de forma eficaz como depósitos flotantes de posibles infecciones, en especial cuando las consumen los humanos o los animales.<sup>45</sup>



Aún más preocupante es su papel en la aceleración de la resistencia bacteriana, una de las amenazas más urgentes para la salud pública en todo el mundo. Según un estudio de laboratorio reciente, parece que determinados MNP facilitan la transferencia de genes resistentes a los antibióticos entre bacterias —un proceso conocido como transferencia horizontal de genes—, lo que incrementa la propagación de la resistencia a los antibióticos hasta 200 veces.<sup>46</sup> Esto podría mermar la eficacia de los antibióticos, dar rienda al aumento de superbacterias resistentes y menoscabar la eficacia de los medicamentos vitales, aunque se necesitan más pruebas para confirmar estos efectos.

En tercer lugar, los MNP pueden transportar y liberar un cóctel de productos químicos y aditivos tóxicos que interfieren en los procesos biológicos. La siguiente sección analiza estos procesos químicos con más detalle, a la vez que destaca la forma en que interactúan con el organismo, junto con los riesgos que entrañan para la salud humana.

FIGURA 4: Los plásticos están en todos lados y contienen sustancias químicas tóxicas que hieren a los humanos y a la vida silvestre



© WWF Alemania

### DENTRO DEL ORGANISMO: CÓMO LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS PREOCUPANTES RELACIONADAS CON EL PLÁSTICO CAUSAN DAÑOS

La mayoría de los plásticos contienen una mezcla compleja de aditivos, a menudo introducidos durante su producción para conferirles propiedades específicas, como flexibilidad, durabilidad o resistencia al fuego y a los rayos UV. Se sabe que muchos de esos aditivos son nocivos, incluidas las sustancias químicas de los seis grupos siguientes, que se encuentran habitualmente en muchos productos de plástico. No todos los plásticos contienen las sustancias químicas mencionadas en esta lista, pero los ejemplos ilustran el uso variado de sustancias químicas nocivas en la economía del plástico. Aunque no siempre puede demostrarse que la presencia de estas sustancias químicas en el cuerpo humano se debe exclusivamente a los plásticos, su uso generalizado en productos de plástico, así como su existencia en tejidos humanos, lleva a pensar que los plásticos son una fuente de exposición probable y prevenible.

- **Ftalatos:** utilizados habitualmente para ablandar el PVC en productos como los suelos de vinilo, cortinas de ducha y tubos para uso médico
- **Bisfenoles:** se encuentran en productos como los envases de alimentos y bebidas, los tiques de papel térmico y las botellas de agua reutilizables
- **Estabilizantes para UV y alquilfenoles:** se utilizan en mobiliario de exterior, plásticos de automoción y envases para prevenir la degradación a causa de la luz solar
- **Sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS):** presentes en envases de alimentos resistentes a la grasa, utensilios de cocina antiadherentes y ropa impermeable
- **Retardadores de llama:** ampliamente utilizados en textiles, electrónica y material aislante para la construcción

- **Metales, metaloides y compuestos metálicos:** se emplean como estabilizadores, pigmentos o catalizadores en la producción de plásticos y están presentes en productos como tuberías de PVC, juguetes y césped sintético

Algunas de estas sustancias químicas, como el bisfenol A y los ftalatos, pueden filtrarse en el medio ambiente<sup>47</sup>, lo que aumenta el riesgo de exposición humana. Estas sustancias químicas pueden liberarse con el tiempo e interferir en la biología humana de diversas formas interconectadas,<sup>48, 49, 50, 51</sup> unos trastornos que guardan relación con una gran variedad de enfermedades y trastornos de salud.<sup>52</sup> Además, los MNP pueden actuar como portadores de esas sustancias químicas, transportándolas al interior del organismo. En algunos casos, «ocultan» sustancias nocivas que atraviesan de forma inadvertida las defensas naturales del cuerpo y las introducen en los tejidos, células y órganos, un mecanismo conocido como el «efecto caballo de Troya».<sup>53, 54, 55</sup>

La alteración endocrina ha sido documentada ampliamente como uno de los principales impactos a la salud causados por sustancias químicas relacionadas a los plásticos.

Uno de los efectos mejor documentados de las sustancias químicas preocupantes relacionadas con el plástico sobre la salud es la alteración endocrina. Muchos de los aditivos que se encuentran en los plásticos, en particular los ftalatos y los bisfenoles, son alteradores endocrinos que interfieren en el sistema hormonal del organismo el cual regula funciones como el crecimiento, la reproducción, el metabolismo y el peso corporal.<sup>56</sup> Estas sustancias químicas pueden imitar la acción de hormonas naturales como el estrógeno y la testosterona, uniéndose a los receptores y alterando las señales habituales que emiten las hormonas.<sup>57</sup> Las alteraciones endocrinas pueden provocar problemas a largo plazo, como problemas de fertilidad, pubertad prematura, trastornos tiroideos,<sup>58</sup> y cánceres hormonosensibles, como el de mama.<sup>59</sup> Estas sustancias químicas también conllevan enfermedades metabólicas como la diabetes y la obesidad.<sup>60, 61</sup>

Además, las sustancias químicas entrañan riesgos para el desarrollo cerebral. Al alterar los sistemas neurotransmisores y las hormonas clave del desarrollo, pueden perjudicar la formación y el funcionamiento del cerebro. Se ha demostrado, por ejemplo, que los ftalatos interfieren en los sistemas neurotransmisores durante fases críticas del desarrollo cerebral. Las consecuencias incluyen la reducción del volumen de materia gris, el deterioro de la función cognitiva y motora, así como la disminución del CI.<sup>62, 63</sup> Estos efectos son especialmente preocupantes durante el periodo prenatal y la primera infancia, momentos en los que el cerebro se desarrolla rápidamente. La exposición de los niños a los bisfenoles en periodos importantes del desarrollo contribuyó a la aparición de graves trastornos neurológicos como el trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH), el trastorno del espectro autista (TEA), la depresión y la ansiedad.<sup>64</sup>

Los MNP también pueden causar daño al desencadenar estrés oxidativo. Algunas sustancias químicas preocupantes relacionadas con el plástico son capaces de aumentar la producción de especies reactivas del oxígeno (ERO) o radicales libres (moléculas inestables que pueden reaccionar fácilmente

**Es necesario desarrollar soluciones integrales que protejan la salud pública, conserven la biodiversidad y apoyen la resiliencia planetaria, reconociendo los vínculos profundos entre la salud humana, animal y medioambiental.**

con otras moléculas de una célula).<sup>65</sup> Aunque las ERO presentan funciones biológicas normales y el organismo las gestiona mediante antioxidantes, una producción excesiva altera su equilibrio y provoca estrés oxidativo. Esto puede dañar el ADN y otras moléculas de la célula y favorecer el envejecimiento y las enfermedades.<sup>66, 67</sup> A modo de ejemplo, se ha demostrado que los ftalatos interfieren en la actividad antioxidante e inclinan la balanza a favor del estrés oxidativo.<sup>68</sup>

Además, varias de estas sustancias químicas interfieren en el funcionamiento de los genes, lo que incide en su activación o desactivación y acarrear efectos duraderos sobre la salud que pueden transmitirse a generaciones futuras.<sup>69</sup> Este tipo de modificación epigenética puede cambiar el modo en que el organismo se desarrolla o funciona, en especial durante los primeros años de vida. Por ejemplo, la exposición prenatal al bisfenol A puede interferir en un gen implicado en la función cerebral, lo que aumenta el riesgo de sufrir trastornos del desarrollo neurológico, sobre todo en las niñas.<sup>70</sup>

Estas sustancias químicas preocupantes relacionadas con el plástico también pueden alterar el sistema inmunitario (la defensa del organismo ante las enfermedades y las sustancias nocivas) al interferir en las citoquinas, sustancias de señalización que coordinan la respuesta inmunitaria. Una señalización inadecuada de la respuesta inmunitaria puede provocar inflamación crónica, un estado persistente de activación inmunitaria que se ha relacionado con una gran variedad de afecciones, desde enfermedades respiratorias hasta cáncer.<sup>71</sup>

Muchos de estos mecanismos de enfermedad están interconectados. Los alteradores endocrinos pueden alterar la expresión génica,<sup>72</sup> y un cambio en la expresión génica inflamatoria pone en marcha procesos inflamatorios.<sup>73</sup> El estrés oxidativo provoca daños en el ADN, lo que puede desencadenar inflamación y enfermedades conexas.<sup>74</sup> Este efecto acumulativo aumenta el riesgo general de contraer enfermedades crónicas, lo que destaca la urgencia de adoptar medidas preventivas a fin de reducir la exposición a sustancias químicas relacionadas con el plástico.

En el apéndice técnico se presentan pruebas más detalladas, en las que se analizan de forma pormenorizada los riesgos que suponen seis grupos principales de sustancias químicas para las personas y la fauna salvaje, aunque la ciencia es cada vez más clara: Los MNP y las sustancias químicas relacionadas con los plásticos pueden afectar la salud humana (y medioambiental) a través de múltiples vías biológicas. Estos hallazgos subrayan la necesidad de contemplar la contaminación por plásticos desde el prisma de *Una sola salud*, no sólo para comprender el alcance total de los daños, sino también para concebir soluciones conjuntas que protejan la salud pública, salvaguarden la biodiversidad y apoyen la resiliencia planetaria, a la vez que se reconocen los vínculos profundos entre la salud humana, animal y medioambiental.

Si bien la investigación seguirá evolucionando, ya existe un corpus importante de pruebas que apuntan a un daño creíble y consistente. Ha llegado el momento de actuar. En la próxima sección se explica cómo estas pruebas pueden y deben fundamentar medidas políticas ambiciosas y preventivas para abordar la crisis de los plásticos desde su raíz.

## PELIGRO FRENTE A RIESGO: ¿CUÁL ES LA DIFERENCIA?

Un **peligro** tiene el potencial de causar daño, como una sustancia química o un microplástico que, en determinadas condiciones, puede afectar a la salud humana o medioambiental.

Un **riesgo** es la probabilidad de que se produzca realmente un daño y su gravedad, en función de la cantidad, la frecuencia y la forma en que las personas (u otros organismos) están expuestas a ese peligro.

Por ejemplo, una sustancia química puede ser peligrosa en concentraciones elevadas, pero el riesgo para las personas o el medio ambiente depende de la cantidad a la que se expongan y de qué forma.

Los estudios científicos suelen utilizar concentraciones más elevadas para comprender el potencial del daño y cómo se produce. Estos estudios ayudan a identificar y caracterizar los peligros, aunque no siempre reflejan las condiciones del mundo real en las que las exposiciones son menores, pero pueden seguir siendo crónicas y generalizadas. Si bien todavía es difícil medir los niveles exactos de exposición, aumenta la preocupación en torno a la probabilidad de que una exposición prolongada y en concentraciones bajas a los MNP y a otras sustancias químicas preocupantes conduzca efectos graves para la salud.





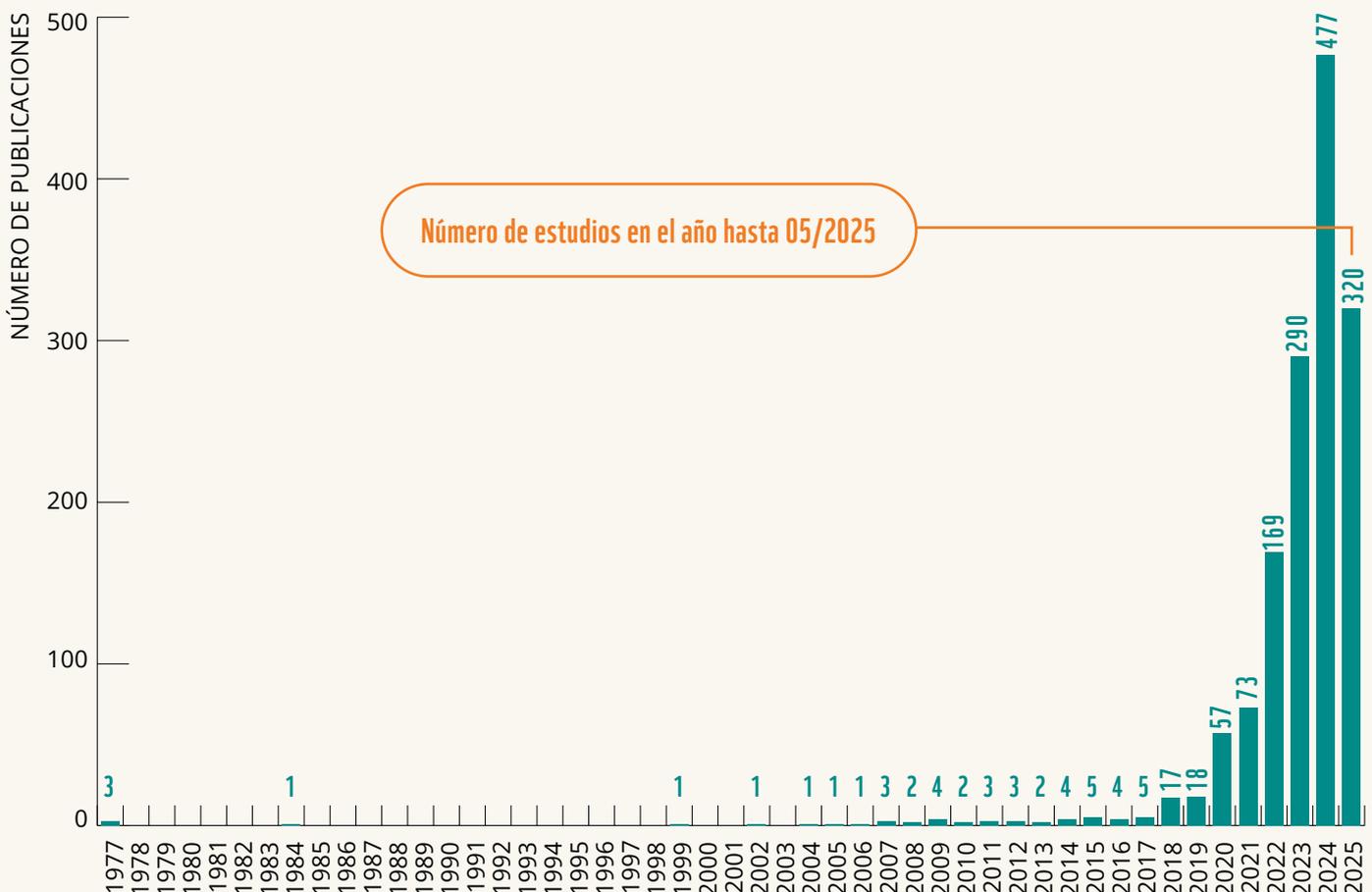
La preocupación en la comunidad científica ha ido aumentando, al igual que la necesidad de tomar acciones concretas. Un tratado de la ONU que establezca reglas globales sobre la contaminación por plásticos es esencial para reducir la exposición y prevenir impactos a la salud en el largo plazo.

## 4. DE LA EVIDENCIA A LA ACCIÓN: PRIORIDADES POLÍTICAS PARA SUSCITAR EL CAMBIO

Las pruebas científicas ya son sustanciales. Miles de estudios evaluados por expertos apuntan a vinculaciones cada vez más consistentes y preocupantes. Las actividades de investigación en este ámbito han aumentado de forma exponencial en los últimos años (con casi 1500 publicaciones sólo desde 2018), situación que deja traslucir no sólo la preocupación creciente, sino el aumento de datos disponibles y de la capacidad tecnológica para rastrear estos daños. Este conjunto creciente de pruebas exige una respuesta política y normativa igualmente ambiciosa.

FIGURA 5:  
Número de estudios sobre los impactos de los micro y nanoplasticos en la salud humana desde 1977 hasta mayo de 2025

El número de estudios que demuestran el impacto de los micro y nanoplasticos en la salud humana ha incrementado en las últimas décadas (y desde que la OMS publicó su primer informe sobre los riesgos a la salud humana en 2019). Una búsqueda realizada en mayo de 2025 utilizando la base de datos Scopus arrojó 1.467 estudios que combinan las palabras clave («microplásticos» o «nanoplasticos» con los términos «salud humana», «salud pública», «pulmón», «corazón», «intestinos», «cerebro» y «cáncer».



© WWF Alemania, Fuente: Análisis de la Universidad de Birmingham

## LA NECESIDAD DE ELABORAR UNA POLÍTICA MUNDIAL DECISIVA, EFICAZ Y PREVENTIVA

Aunque las pruebas científicas seguirán evolucionando, los riesgos son creíbles y hay mucho en juego. La exposición a los contaminantes plásticos es casi universal y mayormente involuntaria. Los efectos sobre la salud no se limitan a los seres humanos. Los MNP y las sustancias químicas tóxicas contenidas en los plásticos también pueden dañar la fauna y los ecosistemas. Y puesto que muchos de los efectos (como cánceres y alteraciones de la fertilidad) pueden tardar años en manifestarse, el riesgo de sufrir consecuencias prolongadas y potencialmente irreversibles es elevado si se retrasa la adopción de medidas.

En contextos de ese tipo, el principio de precaución<sup>75</sup> resulta esencial. Este principio bien establecido es un precepto importante de la legislación medioambiental y de salud pública, y afirma que cuando existen riesgos creíbles, la falta de certeza científica no debe ser una razón para posponer la acción. Ha guiado satisfactoriamente numerosos acuerdos internacionales, como el Protocolo de Montreal de 1987 el cual actuó de forma decisiva en la cuestión de las sustancias que agotan la capa de ozono antes de que hubiera un consenso científico pleno. Desde entonces, este tratado ha evitado millones de casos de cáncer de piel y cataratas y, en lugar de multiplicar por diez la degradación del ozono augurada para 2050, ahora se prevé que la capa de ozono se recupere a mediados de siglo,<sup>76</sup> pese a que los clorofluorocarbonos (CFC, las sustancias químicas responsables) persisten en la atmósfera durante décadas o siglos, con una vida media que oscila entre 50 y 500 años.

### ¿DE QUÉ SE TRATA EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN?

El principio de precaución consiste en tomar medidas preventivas ante la incertidumbre. Ante la sospecha de que una acción o política puede causar daño a las personas o al medio ambiente, la carga de la prueba para demostrar el daño recae en los proponentes de la actividad, no en aquellos que podrían resultar afectados. Se trata de un principio que nos permite proteger a las personas y la naturaleza antes de que se produzca un daño. Numerosos tratados internacionales han aplicado con éxito el principio de precaución, por ejemplo, el Protocolo de Montreal, la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el Convenio de Basilea y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.



En este momento se necesita un planteamiento similar para la contaminación por plásticos la cual representa una amenaza directa para las personas, la naturaleza y las generaciones futuras. Al igual que las sustancias que agotan la capa de ozono, muchos plásticos y las sustancias químicas asociadas son muy persistentes y permanecen en el medio ambiente durante décadas o incluso siglos<sup>77</sup> Esta persistencia hace que una actuación tardía sea especialmente costosa. Es esencial adoptar medidas firmes y proactivas para hacer frente a los efectos negativos de los plásticos. Una respuesta verdaderamente eficaz a la crisis de la contaminación por plásticos debe adoptar un enfoque integrado de *Una sola salud*, a la vez que reconoce que la incidencia en un ámbito está muy relacionada con el daño en otros; reducir la exposición en humanos, animales o el medio ambiente redundaría en la disminución del riesgo en general.



## EL TRATADO GLOBAL SOBRE EL PLÁSTICO: UNA OPORTUNIDAD ÚNICA EN LA VIDA

Un tratado global sólido sobre el plástico brinda la oportunidad esencial de convertir las pruebas científicas en medidas políticas y de reducir los riesgos que acarrean los MNP y las sustancias químicas relacionadas con el plástico para la salud. Tras cinco rondas de negociaciones, una gran mayoría de países apoyó la adopción de medidas ambiciosas<sup>78</sup>, y casi 100 países firmaron el «llamado de Niza en favor de un Tratado ambicioso»<sup>79</sup>.

A fin de proteger con eficacia la salud humana y medioambiental, el Tratado debe incluir los siguientes cuatro elementos como mínimo:<sup>80</sup>

FIGURA 6:

Requisitos para un tratado mundial sobre los plásticos basado en un enfoque de *Una sola salud*



© WWF Alemania

Para minimizar los riesgos para la salud, es esencial prohibir y retirar de forma progresiva los productos plásticos de mayor riesgo, es decir, aquellos con características de que vayan a acabar en nuestro medio ambiente y causen daños como contaminantes. Aquí se incluyen los artículos de un solo uso que tienden a tirarse a la basura y escapan de los sistemas de gestión de residuos, así como los productos de plástico que contienen sustancias tóxicas y microplásticos añadidos intencionadamente. Todos ellos representan los riesgos más importantes en la crisis de la contaminación por plásticos y deben ser los primeros en desaparecer.

**Menos de 1.000 (6%) de las 16.000 sustancias químicas presentes en los materiales y productos plásticos o utilizadas en su producción están sujetas a regulaciones internacionales a pesar de que la evidencia científica demuestra que más de 4.200 de ellas son peligrosas.<sup>81</sup>**

De igual forma, es fundamental abordar los riesgos químicos integrados en los plásticos. Las pruebas científicas demuestran que de las 16 mil sustancias químicas que se utilizan o están presentes en los materiales y productos plásticos, menos de mil (el 6%) están sujetas a normativas internacionales en la actualidad, aun cuando se sabe que más de 4 mil 200 (más del 26%), incluidas las que se analizan en este documento, son peligrosas.<sup>81</sup> La supresión de este vacío legal es fundamental para reducir los daños potenciales que presentan los plásticos para la salud humana y medioambiental.

Las medidas para rediseñar los productos plásticos y los sistemas pertinentes proporcionan otra herramienta fundamental para atenuar las repercusiones en la salud. Unos criterios globales armonizados sobre el diseño y el rendimiento de los productos obligarían a los productores de todas las jurisdicciones a aumentar la seguridad y minimizar los riesgos que acarrear los productos plásticos, así como a mantenerlos en circulación mediante su reutilización y reciclado. Por ejemplo, las normas sobre productos podrían minimizar las emisiones de MNP de los productos plásticos o exigir la exclusión de aditivos nocivos. Las medidas de este tipo garantizarían una mayor seguridad de los plásticos en circulación en cuanto a diseño y una menor tendencia a contaminar el medio ambiente y a afectar los ecosistemas y la salud humana.



Por último, para garantizar la eficacia duradera de estas medidas y el cumplimiento de la misión del tratado de proteger la salud humana y el medio ambiente ante la contaminación por plásticos, es fundamental contar con una ayuda integral de financiamiento y puesta en práctica, así como con mecanismos que permitan reforzar el tratado con el paso del tiempo. Además de estos elementos imprescindibles, el tratado debe incluir disposiciones sólidas en materia de información, transparencia y comercio, que son elementos esenciales para efectuar una aplicación eficaz.



## EL LIDERAZGO NACIONAL PUEDE ALLANAR EL CAMINO

**Aunque las normas globales son esenciales, los gobiernos nacionales y regionales no tienen por qué esperar.** Muchas de las medidas que se encuentran ahora en la mesa de negociaciones globales ya se han probado a escala nacional, como las prohibiciones nacionales a determinados productos plásticos y sustancias químicas, las reformas nacionales de la normativa sobre envases, y la ecomodulación en los regímenes obligatorios de responsabilidad ampliada del productor. Por ejemplo, el Reglamento sobre los envases y residuos de envases de la UE, la política de RPE y las prohibiciones de los plásticos de un solo uso de Kenia, y las restricciones de China a determinados aditivos plásticos demuestran que los países pueden eliminar de forma viable los productos y sustancias químicas nocivos.

Unas políticas nacionales sólidas pueden reducir los riesgos inmediatos a escala local, a la vez que inspiran compromisos y acciones más firmes en la esfera internacional. Si se actúa ahora, los países podrán proteger a sus poblaciones, impulsar la innovación y elevar los estándares para las negociaciones internacionales y el establecimiento de normas globales. Sin embargo, para resolver realmente la contaminación por plásticos, la acción nacional debe ir acompañada de normas globales ambiciosas y vinculantes que garanticen la igualdad de condiciones y aborden los factores globales del perjuicio.

## DE LA EVIDENCIA A LA ACCIÓN

La gravedad de la crisis exige una acción urgente y coordinada. Como la dinámica del poder mundial cambia y surgen nuevos actores económicos, se presenta una oportunidad única para replantear el desarrollo sostenible desde la perspectiva de *Una sola salud*. Los Estados deben reconocer que la salud de las personas, los animales y el medio ambiente están intrincadamente ligados, y que una mayor cooperación internacional y armonización normativa son fundamentales a la hora de hacer realidad los beneficios socioeconómicos a largo plazo de este enfoque integrado.

Ante las amenazas alarmantes de la contaminación por plásticos para la salud humana y el medio ambiente, WWF y sus socios hacen un llamado a los gobiernos y negociadores para que elaboren un tratado global sólido y jurídicamente vinculante, con normas específicas y aplicables capaces de exigir responsabilidades a la industria. La ambiciosa mayoría de los Estados debe liderar la elaboración de un Tratado que sea justo, eficaz e inflexible a la hora de proteger el medio ambiente y la salud pública. Los gobiernos deben elegir la acción frente al compromiso.

WWF hace un llamado a los gobiernos para que demuestren la valentía de liderar, la visión de generar un cambio duradero en los sistemas y la responsabilidad de proteger a las personas y a la naturaleza. El tratado mundial para acabar con la contaminación por plásticos está muy cerca. El mundo está observando: ha llegado el momento de actuar.

## El mundo está observando: ha llegado el momento de actuar.





Los hallazgos científicos muestran cómo seis grupos distintos de sustancias químicas que suelen estar presentes en los plásticos entran en nuestros cuerpos y causan daño, lo cual evidencia la necesidad de proceder con precaución y desarrollar regulaciones más exigentes.

## 5. APÉNDICE TÉCNICO

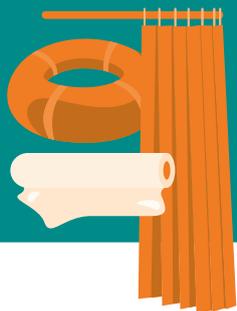
El apéndice técnico ofrece información detallada sobre una selección de sustancias químicas que se encuentran habitualmente en los plásticos y en la contaminación asociada a los plásticos. Como parte principal de este artículo, resume los riesgos generales para la salud asociados a la exposición a los plásticos. Este apéndice ofrece un análisis más detallado de seis grupos específicos de sustancias químicas, una explicación breve del uso que se hace de estas sustancias químicas en los plásticos, los mecanismos por los que causan daños y las pruebas científicas que los relacionan con efectos adversos en humanos y animales. Los siguientes resúmenes exponen los resultados de investigaciones evaluadas por expertos, organismos sanitarios internacionales y revisiones recientes. De haberlas, se incluyen pruebas de estudios realizados en humanos y en animales para ilustrar el peso de la preocupación científica.

Aunque muchas de estas sustancias químicas tienen efectos que se solapan, este apéndice divide las pruebas científicas de acuerdo con las principales categorías de consecuencias para la salud. Algunas sustancias químicas preocupantes relacionadas con el plástico, como los ftalatos y los bisfenoles, han sido objeto de una oleada importante de estudios recientes; otras, como el plomo, llevan bajo escrutinio durante décadas

**Aunque el volumen y la frecuencia de las investigaciones en torno a estas sustancias varían, el panorama científico colectivo es sólido y sumamente preocupante.**

Muchos estudios toxicológicos utilizan concentraciones de sustancias químicas superiores a las que las personas pueden encontrar habitualmente en su entorno cotidiano. Este enfoque ayuda a los investigadores a identificar posibles mecanismos de daño, pero puede limitar las comparaciones directas con la exposición en el mundo real. No obstante, las pautas que se desprenden de la bibliografía justifican con claridad la adopción de medidas de precaución, y en la comunidad científica tratan de evaluar cada vez más los riesgos para la salud utilizando concentraciones más realistas desde el punto de vista medioambiental.

## FTALATOS



## Qué son

Los ftalatos se utilizan como plastificantes (sustancias que disminuyen la dureza y aumentan la flexibilidad de un material) en el proceso de fabricación de aplicaciones que abarcan desde juguetes a dispositivos médicos, o pisos de vinilo, y se encuentran habitualmente en los residuos plásticos domésticos<sup>82</sup>

## Ejemplos químicos

- DEHP (di(2-etilhexil)ftalato) (número CAS 117-81-7)
- DBP (dibutilftalato) (número CAS 84-74-2)
- BBP (bencilbutilftalato) (número CAS 85-68-7)
- DIBP (diisobutilftalato) (número CAS 84-69-5)
- DEP (dietilftalato) (número CAS 84-66-2)
- MEP (monoetilftalato) (número CAS 2306-33-4)
- MBP (monobutilftalato) (número CAS 131-70-4)
- MIBP (monoisobutilftalato) (número CAS 30833-53-5)
- DINP (diisononilftalato) (números CAS 28553-12-0 y 68515-48-0)
- DIDP (diisodecilftalato) (números CAS 26761-40-0 y 68515-49-1)

## Cómo afectan a la salud humana

Los ftalatos son sustancias de uso muy generalizado, de fácil absorción y una de las amenazas para la salud humana más documentada en relación con los plásticos. Sus efectos abarcan varios sistemas del cuerpo humano, hecho que los torna muy preocupantes por la incidencia de las sustancias químicas relacionadas con el plástico en la salud.

## Perturbación de la función hormonal y reproductiva

Los ftalatos, uno de los alteradores endocrinos más frecuentes, interfieren en el sistema de producción hormonal del organismo, a menudo imitando a las hormonas naturales, uniéndose a sus receptores y bloqueando la respuesta hormonal habitual.<sup>83</sup> Su incidencia se aprecia sobre todo durante el embarazo y la primera infancia, etapas en las que el equilibrio hormonal resulta fundamental para el desarrollo cerebral y corporal.

## Reducción de la fertilidad en los varones

La fertilidad masculina está disminuyendo en todo el mundo. Los ftalatos interfieren en la testosterona, una hormona esencial para el desarrollo reproductivo masculino. Existen pruebas sólidas que relacionan estas sustancias químicas con la reducción de la fertilidad,<sup>84, 85</sup> debido principalmente a:

- **Una reducción de la calidad del esperma:** la exposición a concentraciones más elevadas de ftalatos contribuye a la disminución de la movilidad del esperma (la capacidad del espermatozoide para nadar hacia el óvulo y fecundarlo, con lo cual la disminución de la movilidad aumenta la probabilidad de infertilidad).<sup>86</sup> Un estudio chino reveló que los hombres expuestos a los ftalatos presentaban una reducción del 6 % en el recuento total de espermatozoides, una reducción del 5 % en la concentración de espermatozoides y una disminución del 3 % en la movilidad, efectos que revirtieron parcialmente cuando los sujetos se trasladaron a zonas con menor exposición a los ftalatos.<sup>87</sup> Se han observado resultados similares en Suecia<sup>88</sup> y Rusia, donde los hombres con mayor exposición al DINP durante la pubertad tardía presentaban una reducción del 32 % en el recuento total de espermatozoides, una reducción del 30 % en la concentración de espermatozoides y una disminución del 30 % en la movilidad.<sup>89</sup>
- **Anomalías genitales:** la exposición a los ftalatos se asocia con un desarrollo reproductivo masculino anormal, un mayor riesgo de criptorquidia (testículos no descendidos) e hipospadias (malposición del orificio uretral), y una menor distancia anogenital (un marcador de la reducción de la fertilidad).<sup>90</sup> Estas anomalías contribuyen a la infertilidad masculina. Se han observado asociaciones importantes entre la exposición prenatal y estas anomalías genitales.<sup>91</sup>

FTALATOS		
<p><b>Perturbación de la función hormonal y reproductiva</b></p>	<p><b>Alteración de la reproducción femenina</b></p>	<p>Aunque las pruebas son menos sólidas que en los hombres, los ftalatos también se han relacionado con una serie de efectos adversos en la salud reproductiva femenina. Según varios estudios, la exposición a los ftalatos está relacionada con la endometriosis<sup>92</sup> los fibromas uterinos,<sup>93</sup> la disminución de la reserva ovárica,<sup>94</sup> la reducción de las tasas de embarazo,<sup>95</sup> el aumento de las tasas de aborto espontáneo,<sup>96</sup> y otros trastornos en el embarazo.<sup>97</sup></p>
<p><b>Desarrollo neurológico</b></p> <p>Los ftalatos están relacionados con alteraciones hormonales críticas para el desarrollo cerebral. Se ha demostrado que los ftalatos afectan negativamente a la función de la tirosina, un componente esencial de las hormonas relacionadas con la regulación del estado de ánimo, la atención, y el control de los impulsos, así como de la tiroxina, una hormona esencial para el neurodesarrollo.<sup>98, 99</sup></p>	<p><b>Deterioro del desarrollo cognitivo temprano</b></p>	<p>Un estudio reveló que determinados ftalatos se asociaban a reducciones drásticas del desarrollo entre los 4,5 y los 7,5 meses de edad, incluida una disminución del 85 % en la capacidad de resolución de problemas en bebés de sexo femenino, y una disminución del 52 % en las habilidades personales y sociales y del 39 % en las habilidades motoras finas en bebés de sexo masculino.<sup>100</sup> Se ha demostrado que la exposición temprana, ya sea en el útero o durante la infancia, afecta negativamente al desarrollo cognitivo.<sup>101</sup> Esto coincide con los resultados de al menos 25 estudios que vinculan la exposición materna y prenatal a los ftalatos con un menor desarrollo neurológico y función cognitiva en los niños.<sup>102</sup></p>
	<p><b>Disminución del volumen de materia gris</b></p>	<p>Los niveles maternos más elevados de ftalatos (monoetilftalato, MEP) durante el embarazo se han relacionado con la disminución del volumen total de materia gris en los niños a los 10 años, lo que contribuía a un deterioro de la función cognitiva y motora.<sup>103</sup></p>
	<p><b>Procesamiento más lento de la información</b></p>	<p>La exposición prenatal a los ftalatos provocó un procesamiento más lento de la información en la infancia.<sup>104</sup></p>
<p><b>Efectos respiratorios</b></p> <p>La exposición a ftalatos durante el embarazo puede aumentar el riesgo de sufrir problemas respiratorios en los infantes.<sup>105</sup></p>	<p><b>Asma</b></p>	<p>Según un estudio, los hijos de madres con niveles urinarios más altos de metabolitos BBP y DBP durante el embarazo presentaban hasta un 78 % más de probabilidades de desarrollar asma entre los 5 y los 11 años, en comparación con los hijos de madres con niveles más bajos.<sup>106</sup></p>
	<p><b>Rinitis alérgica (problemas respiratorios relacionados con la alergia)</b></p>	<p>Los ftalatos pueden desencadenar tos e inflamación de las vías respiratorias al alterar la función inmunitaria, lo cual favorece la irritación respiratoria crónica y daña la función pulmonar<sup>107, 108</sup> Este proceso puede deberse a que estimulan los nervios<sup>109</sup> o modifican la actividad génica en células inmunitarias fundamentales, a la vez que potencian la inflamación pulmonar alérgica.<sup>110</sup></p>
<p><b>Efectos a nivel cardiovascular</b></p> <p>Los ftalatos también pueden plantear graves riesgos para la salud cardiovascular,<sup>111</sup> posiblemente al dañar la expresión génica de las mitocondrias.<sup>112</sup></p>	<p><b>Enfermedades cardíacas</b></p>	<p>Un estudio realizado a más de 10 000 adultos sugirió que los niveles de ftalatos contribuyen al aumento de las enfermedades cardiovasculares.<sup>113</sup></p>
	<p><b>Hipertensión</b></p>	<p>Varios estudios han descubierto que la exposición a los ftalatos (específicamente MEP, MBP y MIBP) guarda relación con la presión arterial alta (hipertensión), sobre todo en las mujeres embarazadas.<sup>114</sup></p>
	<p><b>Aterosclerosis (acumulación de placa)</b></p>	<p>Se cree que los ftalatos dañan las mitocondrias,<sup>115</sup> los motores de nuestras células que gestionan la energía; el mal funcionamiento de las mitocondrias puede causar inflamación y provocar aterosclerosis<sup>116</sup>, en la que las arterias se estrechan y endurecen debido a la acumulación de depósitos grasos (placa) en sus paredes internas. La aterosclerosis es una de las principales causas de ataque cardíaco (infarto de miocardio), insuficiencia cardíaca e ictus.</p>

## FTALATOS

## Cómo afectan a la salud animal

Los perros machos expuestos al DEHP mostraron una disminución de la calidad del esperma similar a la de los humanos.<sup>117</sup> En ratones, se descubrió que una mezcla de ftalatos reducía de forma considerable la movilidad de los espermatozoides, lo que provocaba una reducción de las tasas de fertilización.<sup>118</sup> En un estudio reciente sobre cabras alimentadas con ftalatos durante toda la gestación se observó una disminución significativa de los niveles de hormonas importantes como estrógeno, progesterona, hormona luteinizante y tiroxina, en comparación con los controles.<sup>119</sup>

Los roedores y peces cebra expuestos a ftalatos muestran alteraciones en el desarrollo cerebral, trastornos cognitivos, estrés oxidativo y cambios de comportamiento.

Las crías de rata expuestas a ftalatos en el útero obtuvieron resultados notablemente peores en pruebas cognitivas.<sup>120</sup> También se ha demostrado que algunos ftalatos, como el BBP, el DEHP y el DBP, alteran el desarrollo cerebral y perturban la función cognitivo-conductual en peces cebra y roedores adultos.<sup>121</sup> Por ejemplo, en un estudio concreto se descubrió que el DEHP era tóxico para el desarrollo del pez cebra, y se observó neurotoxicidad debido a la restricción del enrollamiento de la cola y la reducción de la actividad. El DEHP también indujo estrés oxidativo y apoptosis en larvas de pez cebra.<sup>122</sup>

En un estudio realizado con un modelo de ratón, las crías de ratonas embarazadas expuestas al DEHP tuvieron crías con una incidencia de hasta el 14 % de cardiopatías congénitas; este estudio relacionó este hecho con la supresión por parte del DEHP de los genes clave implicados en la cardiogénesis (el desarrollo y la formación del corazón).<sup>123</sup>



## BISFENOLES



## Qué son

Los bisfenoles son compuestos que se utilizan para endurecer los plásticos y hacerlos infrangibles. El más común es el bisfenol A (BPA), que se utiliza en la fabricación de policarbonato —plásticos transparentes que suelen utilizarse como aditivo de plásticos para techumbres y acristalamientos, así como en CD, cascos de seguridad y biberones. Algunas regiones han ido retirando gradualmente el BPA y actualmente se le suele sustituir por otros bisfenoles como el BPB y el BPS, que pueden presentar los mismos riesgos (eco)toxicológicos. Se están utilizando al menos otros 34 bisfenoles que pueden tener los mismos efectos nocivos.<sup>124</sup>

## Ejemplos químicos

- BPA (bisfenol A) (número CAS 80-05-7)
- BPB (bisfenol B) (número CAS 77-40-7)
- BPS (bisfenol S) (número CAS 80-09-1)

## Cómo afectan a la salud humana

El BPA ha suscitado preocupación en materia de salud pública y ha sido clasificado como disruptor endocrino y toxina reproductiva.<sup>125</sup> Obstaculizar las vías hormonales tiene numerosas repercusiones sobre la salud humana, lo que pone de manifiesto el impacto sistémico de los bisfenoles. Según se ha ido tomando conciencia de la toxicidad del BPA, se lo ha ido sustituyendo por otras alternativas, como el bisfenol S. No obstante, según un metanálisis reciente, todos los bisfenoles tienen efectos considerables sobre varias hormonas animales, incluidas las de los sistemas reproductivo y tiroideo. Aunque la base de datos está todavía en fase de desarrollo, parece ser que las alternativas al BPA tienen grandes o incluso mayores repercusiones sobre las hormonas que el BPA.<sup>126</sup>

## Perturbación de la función hormonal y reproductiva

Como el BPA imita el estrógeno, altera las vías genéticas y hormonales, lo que conlleva un aumento del riesgo de enfermedad estrógeno dependiente en las mujeres.<sup>127</sup>

## Cáncer de mama

Se sospecha que el BPA aumenta el riesgo de cáncer de mama debido a que interfiere en las vías de estrógenos y provoca mutaciones genéticas que pueden dar lugar a la formación de tumores.<sup>128</sup> En un estudio, los individuos con cáncer de mama tenían unos niveles de BPA en la orina significativamente más altos que los individuos que no padecían esta enfermedad.<sup>129</sup>

## Problemas reproductivos en las mujeres

La exposición al BPA está asociada con una serie de problemas reproductivos entre los que se incluyen el síndrome de ovario poliquístico (una afección que puede provocar infertilidad)<sup>130</sup>, comienzo de la pubertad prematuro, peso bajo al nacer y preeclampsia (eclampsia: una complicación grave del embarazo que se caracteriza por la hipertensión).<sup>131</sup>

## Interrupción del funcionamiento de la glándula tiroides

La glándula tiroides es fundamental para regular el equilibrio hormonal y organizar el crecimiento y desarrollo de los sistemas nervioso y óseo. El BPA puede imitar las vías hormonales de la tiroides y alterar su funcionamiento normal. Estos efectos se acentúan de manera especial en las niñas debido a la interacción con los procesos de desarrollo femeninos.<sup>132, 133</sup>

## BISFENOLES

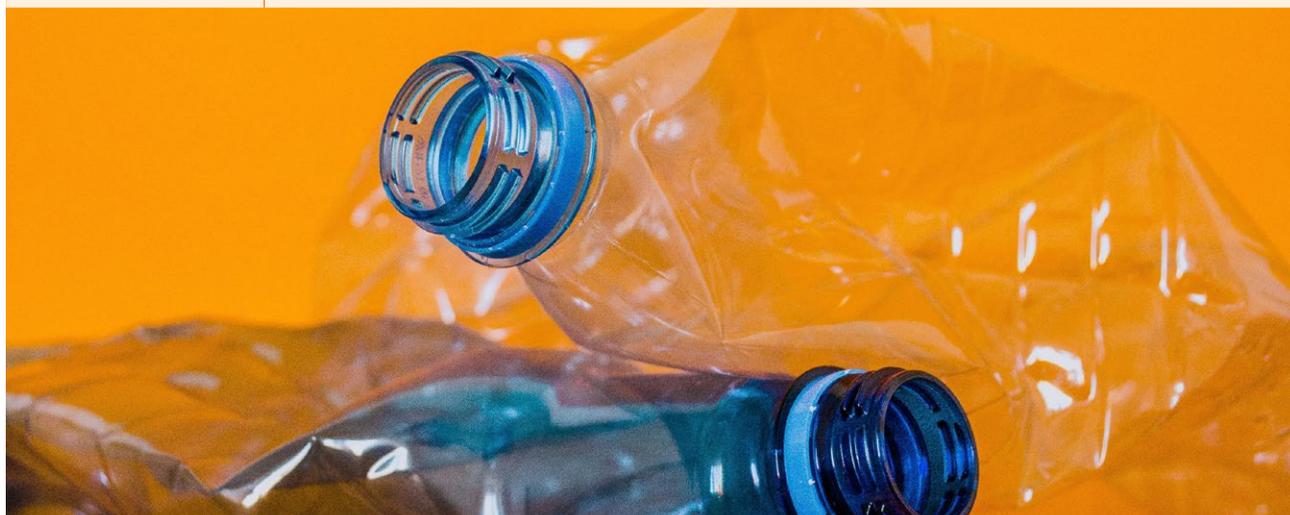
<b>Desarrollo neurológico</b>	<b>Deterioro del desarrollo neurológico</b>	El BPA altera la expresión genética y la función cerebral, lo cual puede tener repercusiones a largo plazo sobre el desarrollo neurológico, provocando, entre otras cosas, TDAH, TEA, depresión, ansiedad, inestabilidad emocional y deficiencias cognitivas. <sup>134</sup>
El BPA puede interferir en los receptores de estrógenos de todo el organismo, incluido el cerebro, con consecuencias a largo plazo. Alterar la señalización de estrógenos durante las fases clave del desarrollo, por ejemplo, dentro del útero y durante la pubertad, puede modificar la estructura y la función del cerebro.	<b>Enfermedades neurológicas en adultos</b>	También se ha relacionado la neurotoxicidad asociada al BPA con un aumento del riesgo de enfermedades neurológicas, entre las que se incluyen el accidente cardiovascular, la enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson. <sup>135</sup>

**Efectos a nivel cardiovascular**

La exposición al BPA está relacionada con los trastornos cardiovasculares y la hipertensión. Si bien todavía no se han llegado a comprender los mecanismos en su totalidad, ha quedado demostrado que el BPA altera las señales dentro del sistema cardiovascular.<sup>136</sup>

**Cómo afectan a la salud animal**

El BPA altera el sistema endocrino de los animales. En los estudios realizados en roedores, la interferencia en los estrógenos alteró el comportamiento sexual y aumentó la ansiedad.<sup>137</sup> El BPA ha sido identificado como un carcinógeno directo en el tejido mamario de ratones y ratas, y ha provocado el síndrome de ovario poliquístico en las ratas.<sup>138</sup> En los estudios realizados en animales también se han encontrado pruebas de que la exposición al bisfenol obstaculiza la actividad tiroidea en los hámsteres y altera la metamorfosis de los renacuajos.<sup>139</sup> Se ha advertido que existe una relación entre la exposición de las ovejas embarazadas al BPA y el hipotiroidismo en los corderos recién nacidos.<sup>140</sup> También se han observado efectos neurológicos. Los ratones expuestos al BPA dentro del útero presentaban una disminución de la capacidad de aprendizaje, una reducción de la memoria a largo plazo y un aumento de la ansiedad<sup>141</sup>; asimismo, se han observado efectos negativos en el cerebro de las ratas macho que estuvieron expuestas al BPA dentro del útero.<sup>142</sup>



## ALQUILFENOLES Y ESTABILIZANTES PARA UV



## Qué son

Los estabilizantes para UV se utilizan para prevenir la degradación de los plásticos a causa del calor y la luz, sobre todo durante el procesamiento. Los alquilfenoles son una categoría de estabilizante que hace que los plásticos sean más flexibles y duraderos. Se encuentran en productos tales como los plásticos para uso médico, los componentes de automoción y el mobiliario de exterior, así como en productos cosméticos.

## Ejemplos químicos

- Benzofenona-3 (BP-3)
- Nonifenoles
- Octilfenoles

## Cómo afectan a la salud humana

Los estabilizantes para UV son alteradores endocrinos que interfieren en los sistemas hormonales del organismo provocando numerosos efectos negativos sobre la salud. El BP-3 es uno de los estabilizantes para UV dañinos mejor documentados. Los alquilfenoles también son alteradores endocrinos; constituyen una amplia categoría de productos químicos complejos, pero todos comparten una estructura molecular similar a la de los estrógenos.

## Perturbación de la función hormonal y reproductiva

Los efectos hormonales de los estabilizantes para UV y los alquilfenoles demuestran que existe una relación entre estas sustancias y una serie de afecciones hormonales graves, incluidas algunas relacionadas con el sistema reproductivo.

## Cánceres hormonales

Debido a su impacto sobre las hormonas sexuales femeninas, se ha descubierto una conexión entre los estabilizantes para UV y los cánceres hormonosensibles, incluido el cáncer de mama y el de endometrio. En un estudio que incluye más de 1500 casos de cáncer de mama se descubrió que había un mayor número de casos entre las personas cuyo trabajo implicaba la exposición regular a los alquilfenoles, incluida la fabricación de plásticos,<sup>143</sup> y se demostró que ciertos estabilizantes para UV fomentaban el aumento de las células cancerosas del seno.<sup>144</sup> En otro estudio, las mujeres con cáncer de endometrio tenían en la orina concentraciones de dos tipos de alquilfenol significativamente más altas que las que no padecían esta enfermedad.<sup>145</sup>

## Endometriosis y otros trastornos uterinos

Ocho estudios realizados a nivel regional han demostrado que existe una relación entre los estabilizantes para UV y el aumento del riesgo de afecciones reproductivas vinculadas a las hormonas, como los fibromas uterinos y la endometriosis. En un estudio, las mujeres con la mayor concentración urinaria de BP-3 presentaban un 65 % más de probabilidades de tener endometriosis que los demás grupos.<sup>146</sup>

## Diabetes gestacional

La exposición a los alquilfenoles resulta en un aumento significativo de la diabetes gestacional en las mujeres embarazadas, en particular en las que llevan un feto femenino.<sup>147</sup> Apenas empiezan a aparecer pruebas, pero un estudio realizado a una mujer embarazada en China ha demostrado que la causa podría ser que la exposición a los alquilfenoles durante el embarazo interfiriera en la función hepática de la madre.<sup>148</sup>

## Alteración de la testosterona en los varones

La exposición al BP-3 está relacionada con unos niveles más bajos de testosterona en los varones adolescentes, lo que puede dificultar la pubertad, disminuir la densidad ósea y muscular y provocar infertilidad.<sup>149</sup>

## Enfermedad congénita

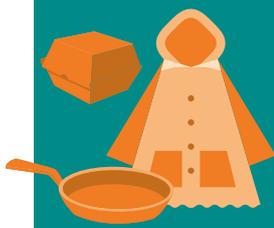
La exposición prenatal al BP-3 está relacionada con la enfermedad de Hirschsprung, un trastorno intestinal congénito causado por mutaciones genéticas que provoca obstrucción intestinal y estreñimiento crónico.<sup>150</sup>

## ALQUILFENOLES Y ESTABILIZANTES PARA UV

Otros efectos	Salud ósea	El BP-3 interfiere en la SPARC, una proteína que contribuye a la formación, el mantenimiento y la reparación de los huesos. Existe una relación entre el alto nivel de BP-3 en la orina y la osteoporosis. <sup>151</sup>
Cómo afectan a la salud animal	No solo existen evidencias de los efectos negativos de los estabilizantes para UV en los humanos, sino también en la salud de los peces y los roedores. <sup>152</sup> Los estudios realizados en animales han demostrado que los alquilfenoles pueden dañar el tejido del riñón y del hígado, sobre todo en las ratas. <sup>153</sup> En el caso de las ratas embarazadas, la exposición se ha atribuido al daño hepático tanto en la madre como en las crías, lo que ha proporcionado una base para estudiar efectos similares en los humanos. <sup>154, 155</sup>	



## SUSTANCIAS PERFLUOROALQUILADAS Y POLIFLUOROALQUILADAS (PFAS)



### Qué son

Las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) se utilizan bastante en los productos de consumo. Se añaden también a los productos plásticos para hacerlos resistentes al calor, al aceite, a las manchas, a la grasa y al agua. Pueden encontrarse en los envases de alimentos, los utensilios de cocina, los materiales de construcción y la electrónica.

### Ejemplos químicos

Posiblemente existen miles de sustancias químicas clasificadas como PFAS. En los estudios se las suele tratar como una categoría en lugar de como compuestos individuales.

### Cómo afectan a la salud humana

Las PFAS (a menudo denominadas «los químicos eternos») son compuestos sintéticos que permanecen en el medio ambiente, el hábitat silvestre y el cuerpo humano durante años. A estos químicos se les conoce como alteradores endocrinos, interfieren en las vías hormonales y afectan de un modo particular al funcionamiento de la glándula tiroides. Las PFAS no afectan a un único órgano o sistema, sino que alteran el organismo a múltiples niveles durante largos periodos de tiempo.

### Perturbación de la función hormonal y reproductiva

Las PFAS pueden imitar al estrógeno y la testosterona, perjudicando la producción, el transporte y la descomposición de estas hormonas esenciales, lo que tiene importantes repercusiones sobre la reproducción y la salud en general.<sup>156</sup>

#### Efectos negativos sobre el embarazo y el nacimiento

La exposición prenatal a las PFAS tiene efectos negativos, como el aumento del riesgo de preeclampsia, peso bajo al nacer y daños en la placenta, un órgano fundamental para el desarrollo fetal y la transferencia de nutrientes.<sup>157</sup>

#### Lactancia frustrada y amamantamiento

Según los estudios realizados, existe una relación entre la exposición a las PFAS y una disminución del periodo de lactancia, con implicaciones en la nutrición durante la primera etapa de la vida.<sup>158</sup>

#### Cáncer

Debido a que interfiere en las hormonas de la tiroides, las PFAS están relacionadas con varios tipos de cáncer, en particular el de tiroides. Un estudio ha descubierto que el diagnóstico de cáncer de tiroides aumentaba un 56 % en pacientes con el doble de PFOS (un tipo de PFAS) en la sangre.<sup>159</sup> También existen pruebas que relacionan las PFAS con el cáncer de riñón y de testículo: según 11 estudios, existe una relación entre la exposición global a las PFAS y un riesgo más elevado de cáncer de riñón, mientras que la exposición a altas dosis está relacionada con un riesgo más elevado de cáncer de testículo.<sup>160</sup>

### Efectos respiratorios

La exposición a las PFAS puede dañar el tejido pulmonar y provocar una inflamación.

#### Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

La exposición a las PFAS está surgiendo como un factor de riesgo de la EPOC, un problema de salud importante a nivel mundial que la OMS identificó como la tercera causa de muerte en 2019.<sup>161</sup>

#### Reducción de la función pulmonar

La exposición puede dañar el tejido pulmonar y provocar una inflamación, y se ha descubierto que puede reducir la función pulmonar en infantes y adolescentes y aumentar el asma y las alergias.<sup>162, 163</sup>

### Otros efectos

#### Immuno-supresión

Las PFAS pueden suprimir la función inmune de manera más amplia, dando lugar a una reducción de la eficacia de las vacunas y aumentar el riesgo de enfermedades contagiosas en infantes.<sup>164</sup> Estas alteraciones del sistema inmune subrayan la naturaleza sistémica de la toxicidad de las PFAS en el organismo.

### Cómo afectan a la salud animal

En los conejos, cuyas placentas tienen una estructura similar a la de los seres humanos, la exposición a las PFAS ha dado lugar a un aumento de peso en la madre, hipertensión, daño en los riñones y alteración en las respuestas de la placenta.<sup>165</sup> En los roedores, se ha observado que las PFAS reducen la producción y el transporte de las hormonas implicadas en la lactancia y retrasan el desarrollo de la glándula mamaria. Esto coincide con los resultados de los estudios realizados en humanos que relacionan la exposición a las PFAS con un periodo de amamantamiento más corto.<sup>166</sup>

## RETARDADORES DE LLAMA



## Qué son

Los retardadores de llama se utilizan para fabricar plásticos resistentes al fuego, ya que impiden que se combustionen y se degraden; se utilizan para aplicaciones en el sector textil, la construcción, los aparatos eléctricos y los cables y alambres.

Los organofosfatos, antes considerados la alternativa más segura a los retardadores de llama bromados comunes como el HBCD y los PBDE, han sido sometidos a examen recientemente.

## Ejemplos químicos

- TBBPA (tetrabromobisfenol A) (número CAS 79-94-7)
- HBCD (hexabromociclododecano) (número CAS 3194-55-6)
- TDCPP (tris(1,3-dicloro-2-propil)fosfato) (número CAS 13674-87-8)
- PBDE (polibromodifenil éteres)

## Cómo afectan a la salud humana

Se sabe que muchos retardadores de llama son alteradores endocrinos y que afectan al comportamiento de las hormonas en el organismo y alteran los procesos fisiológicos normales.<sup>167</sup>

## Perturbación de la función hormonal y reproductiva

Los efectos hormonales que conlleva la exposición a los retardadores de llama generan una profunda preocupación en cuanto a los cánceres hormono-dependientes

## Aumento del riesgo de cáncer

El HBCD puede interferir en la actividad de los estrógenos, aumentando la proliferación de las células cancerosas del seno,<sup>168</sup> además, se ha descubierto que impulsa el desarrollo del cáncer de próstata.<sup>169</sup> Los PBDE (polibromodifenil éteres) perturban las hormonas de la tiroides y tienen una relación con el cáncer de tiroides.<sup>170</sup>

Asimismo, se ha comprobado que el TDCPP, un retardador de llama de organofosfato (OPFR), es cancerígeno en las células hepáticas humanas.<sup>171</sup>

## Desarrollo neurológico

Se ha demostrado que los retardadores de llama perjudican el desarrollo neurológico trastornando la regulación hormonal, modificando los niveles de los neurotransmisores y dañando la función cognitiva durante periodos críticos del desarrollo del cerebro.

## Trastornos en el desarrollo

La exposición prenatal y durante la primera infancia a los PBDE está vinculada a los trastornos cognitivos y a una reducción del coeficiente intelectual en los infantes; además, parece que existe una relación con el autismo.<sup>172, 173</sup>

## Enfermedad de Parkinson

La exposición a los retardadores de llama bromados también está relacionada con un aumento del riesgo de enfermedad de Parkinson.<sup>174</sup>

## RETARDADORES DE LLAMA

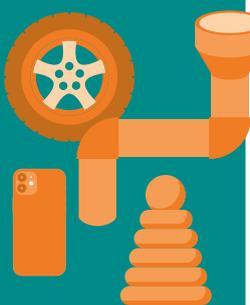
<p><b>Efectos respiratorios</b></p> <p>Los retardadores de fuego pueden perjudicar la salud respiratoria debido a que reducen la función pulmonar y aumentan la predisposición a padecer afecciones respiratorias, sobre todo a causa de la inhalación de partículas.</p>	<p><b>Problemas respiratorios en infantes</b></p>	<p>La exposición a los OPFR mediante la inhalación de polvo está vinculada al aumento del riesgo de sibilancia, infección respiratoria y fiebre del heno o alergias en infantes de un año.<sup>175</sup></p>
<p><b>Otros efectos</b></p>	<p><b>Síndrome metabólico</b></p>	<p>En el caso de los varones, los OPFR están relacionados con el síndrome metabólico —un grupo de afecciones vinculadas a las enfermedades cardíacas, los accidentes cardiovasculares y la diabetes, incluida la hipertensión y unos niveles altos de azúcar en la sangre y de colesterol.<sup>176</sup></p>

**Cómo afectan a la salud animal**

Se ha descubierto que el TBBPA (tetrabromobisfenol A) provoca cáncer de útero en las ratas.<sup>177</sup> En el caso del pez cebrá, el HBCD interfiere en las hormonas tiroideas, dañando el hígado y causando malformaciones en el cuerpo.<sup>178, 179</sup> Al menos tres estudios realizados en roedores demuestran que el HBCD dificulta el desarrollo neurológico, lo que provoca alteraciones en el comportamiento de los animales adultos.<sup>180</sup>



## METALES, METALOIDES Y COMPUESTOS METÁLICOS



### Qué son

Los metales pesados y metaloides se utilizan como pigmentos colorantes o para aumentar la densidad del plástico.<sup>181</sup> El cadmio y el plomo son los aditivos de metal de mayor riesgo. Debido a los efectos que tiene sobre la salud, en la Unión Europea está prohibido el uso del cadmio como aditivo en 16 tipos de plástico, incluido el PVC y el polipropileno, aunque está permitido su uso en otros polímeros.<sup>182</sup> Algunos artículos históricos que siguen en uso o en circulación (juguetes, plásticos para la construcción o aislamiento para cables) contienen grandes concentraciones de plomo, y, a través del reciclaje mecánico, ha contaminado algunos plásticos modernos.<sup>183</sup>

### Ejemplos químicos

- Cadmio (número CAS 7440-43-9)
- Plomo (número CAS 7439-92-1)

### Cómo afectan a la salud humana

El cadmio y el plomo comportan riesgos considerables para la salud, ya que afecta a los sistemas hormonales, neurológicos y cardiovasculares.

### Perturbación de la función hormonal y reproductiva

El plomo y el cadmio pueden perturbar la función hormonal y reproductiva debido a que interfieren en el funcionamiento del sistema endocrino y obstaculiza los mecanismos de la fertilidad.

#### Reducción de la fertilidad en los varones

La exposición al plomo reduce la concentración, el volumen y la movilidad del esperma, lo que contribuye a una disminución de la fertilidad en los varones.<sup>184</sup>

#### Cáncer

Se sabe que el cadmio es cancerígeno y su vía principal es el estrógeno y la alteración de los receptores de estrógeno, lo que aumenta el riesgo de cáncer de endometrio.<sup>185</sup> También está relacionado con un riesgo elevado de cáncer de tiroides,<sup>186</sup> pulmón, riñón, próstata y páncreas.<sup>187</sup>

### Efectos neurológicos

El plomo es una neurotoxina bien documentada que daña el funcionamiento y el desarrollo del cerebro mediante varios mecanismos.

#### Desarrollo del sistema nervioso

El plomo puede alterar el desarrollo del sistema nervioso debido a que influye negativamente en la formación de células neuronales importantes y en el funcionamiento de los neurotransmisores. Además, afecta a la actividad del óxido nítrico, lo que a su vez daña los vasos sanguíneos del cerebro y perturba la transmisión de serotonina.<sup>188</sup>

#### Consecuencias a nivel cognitivo

La exposición al plomo afecta gravemente al desarrollo neurológico del feto. Se ha descubierto que la exposición prenatal y durante la primera infancia al plomo provoca varios trastornos neurológicos y tiene efectos a nivel cognitivo y de comportamiento, tales como un bajo nivel intelectual, dislexia, TDAH y conducta antisocial.<sup>189</sup>

### Efectos a nivel cardiovascular

El plomo y el cadmio dañan el sistema cardiovascular.

#### Enfermedad cardiovascular

La exposición al plomo está vinculada a la hipertensión, las enfermedades coronarias y la mortalidad por accidente cardiovascular y la enfermedad arterial periférica.<sup>190</sup> Asimismo, el cadmio también puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, y el nivel de cadmio en la orina es un indicador de la mortalidad en pacientes que padecen una enfermedad cardiovascular.<sup>191</sup>

## METALES, METALOIDES Y COMPUESTOS METÁLICOS

Otros efectos	Diabetes	El cadmio puede aumentar el riesgo de diabetes debido a su interacción con el sistema metabólico. <sup>192</sup>
	Daños en el ADN	El estrés y el daño al ADN que provocan la exposición al cadmio también dan lugar a daños renales, lesiones hepáticas, enfermedades neurodegenerativas y osteoporosis. <sup>193,194</sup>
Cómo afectan a la salud animal	El plomo tiene muchos de los mismos efectos dañinos en los animales. Está relacionado con el daño cerebral, la hipertensión, menor tasa de fertilidad y lesiones hepáticas en las ratas. <sup>195</sup> Se ha descubierto que el cadmio es cancerígeno en las ratas y, en el marco de algunos estudios de laboratorio, se ha observado una relación con la leucemia y el cáncer de riñón y de próstata. <sup>196</sup> También existe un vínculo entre el plomo, la osteoporosis y la densidad ósea en las ratas. <sup>197</sup>	



# BIBLIOGRAFÍA

- 1 United Nations Environment Programme Ozone Secretariat (2020). Montreal Protocol likely to avert 443 million skin cancer cases in the United States. Recuperado de <https://ozone.unep.org/montreal-protocol-likely-avert-443-million-skin-cancer-cases-united-states>
- 2 Kukkola, A., Schneidewind, U., Haverson, L., Kelleher, L., Drummond, J. D., Smith, G. S., Lynch, I., Krause, S. (2024). Snapshot sampling may not be enough to obtain robust estimates for riverine microplastic loads, *ACS ES&T Water*, 4/5: 2309–2319. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00176
- 3 Wazne, M., Schneidewind, U., Haverson, L., Mermillod-Blondin, F., Simon, L., Nel, H. A., Krause, S. (2024). Does what we find depend on how we sample? Measured streambed microplastic concentrations can be affected by the choice of sampling method, *The Science of the Total Environment*, 958: 178096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.178096
- 4 Jamieson, A. (2020). The new face of the plastics crisis, *Newcastle University, Eurythenes plasticus*. Recuperado de <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2020/03/eurythenesplasticus>
- 5 Materić, D., Ludewig, E., Brunner, D., Röckmann, T., Holzinger, R. (2021a). Nanoplastics transport to the remote, high-altitude alps, *Environmental Pollution*, 288: 117697. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117697
- 6 Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., Sillanpää, M. (2020a). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives, *Earth-Science Reviews*, 203: 103118. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103118
- 7 Vethaak, A. D., Legler, J. (2021a). Microplastics and human health, *Science*, 371/6530: 672–4. DOI: 10.1126/science.abe5041
- 8 Zhang, J., Wang, L., Kannan, K. (2019). Microplastics in house dust from 12 countries and associated human exposure, *Environment International*, 134: 105314. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105314
- 9 Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 219: 161–168. DOI: 10.1016/j.ecss.2019.02.018
- 10 World Health Organization. (2022). Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. Recuperado de <https://iris.who.int/handle/10665/362049>
- 11 Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants, *Sustainability*, 12/14: 5514. DOI: 10.3390/su12145514
- 12 Rubio-Armendáriz, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Carrascosa-Iruzubieta, C. J., La Torre, A. H.-D. (2022). Microplastics as emerging food contaminants: A challenge for food safety, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/3: 1174. DOI: 10.3390/ijerph19031174
- 13 Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastics pollution research—what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI: 10.1126/science.ad2746
- 14 WWF (o. J.). Implementing a One Health approach to conservation. Recuperado de [https://www.panda.org/discover/our\\_focus/wildlife\\_practice/one\\_health](https://www.panda.org/discover/our_focus/wildlife_practice/one_health)
- 15 Rodrigues, A. C. B., De Jesus, G. P., Waked, D., Gomes, G. L., Silva, T. M., Yariwake, V. Y., Da Silva, M. P. et al. (2022). Scientific Evidence about the Risks of Micro and Nanoplastics (MNPLs) to Human Health and Their Exposure Routes through the Environment, *Toxics*, 10/6: 308. DOI: 10.3390/toxics10060308
- 16 Ageel, H. K., Harrad, S., Abdallah, M. A.-E. (2021). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment, *Environmental Science Processes & Impacts*, 24/1: 17–31. DOI: 10.1039/d1em00301a
- 17 Soltani, N. S., Taylor, M. P., Wilson, S. P. (2021a). Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust, *Environmental Pollution*, 283: 117064. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117064
- 18 Zhang, Q., Zhao, Y., Du, F., Cai, H., Wang, G., Shi, H. (2020). Microplastic fallout in different indoor environments, *Environmental Science & Technology*, 54/11: 6530–6539. DOI: 10.1021/acs.est.0c00087
- 19 Pfaller, J. B., Goforth, K. M., Gil, M. A., Savoca, M. S., Lohmann, K. J. (2020). Odors from marine plastic debris elicit foraging behavior in sea turtles, *Current Biology*, 30/5: R213–4. DOI: 10.1016/j.cub.2020.01.071
- 20 NOAA Marine Debris Program, Ingestion | Why Marine Debris Is a Problem. Recuperado de <https://marinedebris.noaa.gov/why-marine-debris-problem/ingestion>
- 21 Kühn, S., Van Franeker, J. A. (2020a). Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna, *Marine Pollution Bulletin*, 151: 110858. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110858
- 22 Jeong, E., Lee, J.-Y., Redwan, M. (2024). Animal exposure to microplastics and health effects: A review, *Emerging Contaminants*, 10/4: 100369. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100369
- 23 Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., Bergmann, M. (2022). Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems. *Zenodo* (CERN European Organization for Nuclear Research). DOI: 10.5281/zenodo.5898684
- 24 Musa, I. O., Auta, H. S., Ilyasu, U. S., Aransiola, S. A., Makun, H. A., Adabara, N. U., Abioye, O. P. et al. (2023). Micro- and nanoplastics in environment: degradation, detection, and ecological impact, *International Journal of Environmental Research*, 18/1. DOI: 10.1007/s41742-023-00551-9
- 25 Kavle, R. R., Nolan, P. J., Carne, A., Agyei, D., Morton, J. D., Bekhit, A. E.-D. A. (2023). Earth Worming—An Evaluation of Earthworm (*Eisenia andrei*) as an Alternative Food Source, *Foods*, 12/10: 1948. DOI: 10.3390/foods12101948
- 26 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. Recuperado de [chemtrust.org/news/flame-retardant-map](https://chemtrust.org/news/flame-retardant-map)
- 27 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. Recuperado de [chemtrust.org/news/flame-retardant-map](https://chemtrust.org/news/flame-retardant-map)

- 28 West, J. B. (2022). The strange history of atmospheric oxygen, *Physiological Reports*, 10/6. DOI: 10.14814/phy2.15214
- 29 Tetu, S. G., Sarker, I., Schrameyer, V., Pickford, R., Elbourne, L. D. H., Moore, L. R., Paulsen, I. T. (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria, *Communications Biology*, 2/1. DOI: 10.1038/s42003-019-0410-x
- 30 Luo, Q., Tan, H., Ye, M., Jho, E. H., Wang, P., Iqbal, B., Zhao, X. et al. (2025). Microplastics as an emerging threat to human health: An overview of potential health impacts, *Journal of Environmental Management*, 387: 125915. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125915
- 31 Mahmud, F., Sarker, D. B., Jocelyn, J. A., Sang, Q.-X. A. (2024). Molecular and Cellular Effects of Microplastics and Nanoplastics: Focus on Inflammation and Senescence, *Cells*, 13/21: 1788. DOI: 10.3390/cells13211788
- 32 Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6: 101581. DOI: 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 33 Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., De Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles, *Nature Reviews Materials*, 7/2: 138–152. DOI: 10.1038/s41578-021-00411-y
- 34 Landrigan, P. J., Raps, H., Cropper, M., Bald, C., Brunner, M., Canonizado, E. M., Charles, D. et al. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health, *Annals of Global Health*, 89/1. DOI: 10.5334/aogh.4056
- 35 Vasse, G. F., Melgert, B. N. (2024). Microplastic and plastic pollution: impact on respiratory disease and health, *European Respiratory Review*, 33/172: 230226. DOI: 10.1183/16000617.0226-2023
- 36 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275: 116255. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 37 Liu, S., Wang, C., Yang, Y., Du, Z., Li, L., Zhang, M., Ni, S. et al. (2024). Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS), *Journal of Hazardous Materials*, 469: 133855. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.133855
- 38 Marfella, R., Praticchizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N. et al. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events, *New England Journal of Medicine*, 390/10: 900–910. DOI: 10.1056/nejmoa2309822
- 39 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275: 116255. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 40 Guanglin, L., Shuqin, W. (2023). Polystyrene nanoplastics exposure causes inflammation and death of esophageal cell, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269: 115819. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2023.115819
- 41 Adaptado de: Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6: 101581. DOI: 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 42 Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y. (2021). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status, *Environmental Science & Technology*, 56/1: 414–421. DOI: 10.1021/acs.est.1c03924
- 43 Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Anuar, S. T., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., Brentnall, T. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review, *Journal of Global Health*, 14. DOI: 10.7189/jogh.14.04179
- 44 Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F. et al. (2025). Author Correction: Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains, *Nature Medicine*. 31, 1367. DOI: 10.1038/s41591-025-03675-x
- 45 Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackulák, T., Žemlička, L., Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain, *Life*, 11/12: 1349. DOI: 10.3390/life11121349
- 46 Yang, Q. E., Lin, Z., Gan, D., Li, M., Liu, X., Zhou, S., Walsh, T. R. (2025). Microplastics mediates the spread of antimicrobial resistance plasmids via modulating conjugal gene expression, *Environment International*, 195: 109261. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109261
- 47 Segovia-Mendoza, M., Nava-Castro, K. E., Palacios-Arreola, M. I., Garay-Canales, C., Morales-Montor, J. (2020). How microplastic components influence the immune system and impact on children health: Focus on cancer, *Birth Defects Research*, 112/17: 1341–1361. DOI: 10.1002/bdr2.1779
- 48 National Institute of Environmental Health Sciences, Endocrine disruptors. Recuperado de: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine>
- 49 Pérez-Albaladejo, E., Solé, M., Porte, C. (2020). Plastics and plastic additives as inducers of oxidative stress, *Current Opinion in Toxicology*, 20–21: 69–76. DOI: 10.1016/j.cotox.2020.07.002
- 50 Nadeem, A., Al-Harbi, N. O., Ahmad, S. F., Alhazzani, K., Attia, S. M., Alsanea, S., Alhoshani, A. et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/J mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109: 110249. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 51 Prado, Y., Aravena, C., Aravena, D., Eltit, F., Gatica, S., Riedel, C. A., Simon, F. (2023). Small plastics, big inflammatory problems, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 101–127. DOI: 10.1007/978-3-031-26163-3\_6
- 52 Seewoo, B. J., Goodes, L. M., Mofflin, L., Mulders, Y. R., Wong, E. V., Toshniwal, P., Brunner, M. et al. (2023). The plastic health map: A systematic evidence map of human health studies on plastic-associated chemicals, *Environment International*, 181: 108225. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108225

- 53 Katsumiti, A., Losada-Carrillo, M. P., Barros, M., Cajaraville, M. P. (2021). Polystyrene nanoplastics and microplastics can act as Trojan horse carriers of benzo(a)pyrene to mussel hemocytes in vitro, *Scientific Reports*, 11/1. DOI: 10.1038/s41598-021-01938-4
- 54 Zhang, M., Xu, L. (2020). Transport of micro- and nanoplastics in the environment: "Trojan-Horse" effect for organic contaminants, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52/5: 810–846. DOI: 10.1080/10643389.2020.1845531
- 55 Zhang, Y., Goss, G. G. (2021). The Trojan Horse effect of nanoplastics: potentiation of polycyclic aromatic hydrocarbon uptake in rainbow trout and the mitigating effects of natural organic matter, *Environmental Science Nano*, 8/12: 3685–3698. DOI: 10.1039/d1en00738f
- 56 La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1: 45–57. DOI: 10.1038/s41574-019-0273-8
- 57 Se han propuesto varios mecanismos mediante los cuales operan las sustancias químicas disruptoras endocrinas. Uno de ellos consiste en activar los receptores hormonales e interrumpir importantes procesamientos posteriores; otros se producen mediante la alteración de la producción, distribución, metabolismo y depuración de hormonas, y algunos pueden modificar epigenéticamente (activando o desactivando genes sin modificar la secuencia de ADN) las células productoras o sensibles a hormonas (La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1: 45–57. DOI: 10.1038/s41574-019-0273-8).
- 58 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health, *The Endocrine Society and IPEN*.
- 59 Casiano, A. S., Lee, A., Tete, D., Erdogan, Z. M., Treviño, L. (2022). Endocrine-Disrupting Chemicals and Breast Cancer: Disparities in Exposure and Importance of Research Inclusivity, *Endocrinology*, 163/5. DOI: 10.1210/endo/bqac034
- 60 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus: Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287: 117270. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 61 Völker, J., Ashcroft, F., Vedøy, Å., Zimmermann, L., Wagner, M. (2022). Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products, *Environmental Science & Technology*, 56/4: 2487–96. DOI: 10.1021/acs.est.1c06316
- 62 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martínez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023). Prenatal exposure to common plasticizers: a longitudinal study on Phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11: 4814–4822. DOI: 10.1038/s41380-023-02225-6
- 63 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021). Prenatal exposure to Phthalates and its effects upon cognitive and motor functions: A systematic review, *Toxicology*, 463: 152980. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152980
- 64 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023). Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1: 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0
- 65 National Cancer Institute. reactive oxygen species. Recuperado de <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/reactive-oxygen-species>
- 66 Yang, J., Luo, J., Tian, X., Zhao, Y., Li, Y., Wu, X. (2024). Progress in Understanding Oxidative Stress, Aging, and Aging-Related Diseases, *Antioxidants*, 13/4: 394. DOI: 10.3390/antiox13040394
- 67 Sicińska, P., Kik, K., Bukowska, B. (2020). Human Erythrocytes Exposed to Phthalates and Their Metabolites Alter Antioxidant Enzyme Activity and Hemoglobin Oxidation, *International Journal of Molecular Sciences*, 21/12: 4480. DOI: 10.3390/ijms21124480
- 68 Brassea-Pérez, E., Hernández-Camacho, C. J., Labrada-Martagón, V., Vázquez-Medina, J. P., Gaxiola-Robles, R., Zenteno-Savín, T. (2021). Oxidative stress induced by Phthalates in mammals: State of the art and potential biomarkers, *Environmental Research*, 206: 112636. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112636
- 69 Nilsson, E. E., Maamar, M. B., Skinner, M. K. (2022). Role of epigenetic transgenerational inheritance in generational toxicology, *Current Zoology*, 8/1. DOI: 10.1093/eep/dvac001
- 70 Alavian-Ghavanini, A., Lin, P.-I., Lind, P. M., Rimbors, S. R., Lejonklou, M. H., Dunder, L., Tang, M. et al. (2018). Prenatal Bisphenol A Exposure is Linked to Epigenetic Changes in Glutamate Receptor Subunit Gene *Grin2b* in Female Rats and Humans, *Scientific Reports*, 8/1. DOI: 10.1038/s41598-018-29732-9
- 71 Cleveland Clinic, Inflammation. Recuperado de <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/21660-inflammation>
- 72 Singh, D. D. (2024). Epigenetic Mechanisms of Endocrine-Disrupting Chemicals in Breast Cancer and Their Impact on Dietary Intake, *Journal of Xenobiotics*, 15/1: 1. DOI: 10.3390/jox15010001
- 73 Nadeem et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/j mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109: 110249. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 74 Kay, J., Thadhani, E., Samson, L., Engelward, B. (2019). Inflammation-induced DNA damage, mutations and cancer, *DNA Repair*, 83: 102673. DOI: 10.1016/j.dnarep.2019.102673
- 75 Pinto-Bazurco, J. F. (2020). The Precautionary Principle, *International Institute for Sustainable Development*. Retrieved from: [www.iisd.org/articles/deep-dive/precautionary-principle](http://www.iisd.org/articles/deep-dive/precautionary-principle)
- 76 United Nations Environment Programme, About Montreal Protocol. Recuperado de [www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol](http://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol)
- 77 Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024a). Twenty years of microplastics pollution research—what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI: 10.1126/science.ad2746

- 78 WWF (n. d.). WWF Global Plastic Navigator, Must-haves in the treaty. Recuperado de [plasticnavigator.wwf.de/#/en/policy?st=0&ch=0&ui-info=0&ui-mpol=show%3Atrue&layers=surface-concentration%7Cpolicy-commitments\\_10&info=policy-commitments\\_10](https://plasticnavigator.wwf.de/#/en/policy?st=0&ch=0&ui-info=0&ui-mpol=show%3Atrue&layers=surface-concentration%7Cpolicy-commitments_10&info=policy-commitments_10)
- 79 Ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation (n. d.). The Nice wake up call for an ambitious plastics treaty. Recuperado de [www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/The%20Nice%20wake%20up%20call%20for%20an%20ambitious%20plastics%20treaty.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/The%20Nice%20wake%20up%20call%20for%20an%20ambitious%20plastics%20treaty.pdf)
- 80 WWF (2024). A Global Treaty To End Plastic Pollution—That People and Nature Need. Recuperado de [wwfint.awsassets.panda.org/downloads/a-global-treaty-to-end-plastic-pollution-must-haves.pdf](https://www.fint.awsassets.panda.org/downloads/a-global-treaty-to-end-plastic-pollution-must-haves.pdf)
- 81 Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., Zimmermann, L. (2024). State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern, *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10701705>
- 82 Pivnenko, K., Eriksen, M. K., Martín-Fernández, J. A., Eriksson, E., Astrup, T. F. (2016). Recycling of plastic waste: Presence of Phthalates in plastics from households and industry, *Waste Management*, 54: 44–52. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.05.014
- 83 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 84 Radke, E. G., Braun, J. M., Meeker, J. D., Cooper, G. S. (2018). Phthalates exposure and male reproductive outcomes: A systematic review of the human epidemiological evidence, *Environment International*, 121: 764–793. DOI: 10.1016/j.envint.2018.07.029
- 85 Eales, J., Bethel, A., Galloway, T., Hopkinson, P., Morrissey, K., Short, R. E., Garside, R. (2021). Human health impacts of exposure to phthalates plasticizers: An overview of reviews, *Environment International*, 158: 106903. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106903
- 86 Thurston, S. W., Mendiola, J., Bellamy, A. R., Levine, H., Wang, C., Sparks, A., Redmon, J. B. et al. (2015). Phthalates exposure and semen quality in fertile US men, *Andrology*, 4/4: 632–628. DOI: 10.1111/andr.12124
- 87 Chen, Q., Yang, H., Zhou, N., Sun, L., Bao, H., Tan, L., Chen, H. et al. (2017). Phthalates exposure, even below US EPA reference doses, was associated with semen quality and reproductive hormones: Prospective MARHCS study in general population, *Environment International*, 104: 58–68. DOI: 10.1016/j.envint.2017.04.005
- 88 Axelsson, J., Rylander, L., Rignell-Hydbom, A., Jönsson, B. A. G., Lindh, C. H., Giwercman, A. (2015). Phthalates exposure and reproductive parameters in young men from the general Swedish population, *Environment International*, 85: 54–60. DOI: 10.1016/j.envint.2015.07.005
- 89 Mínguez-Alarcón, L., Burns, J., Williams, P. L., Korricks, S. A., Lee, M. M., Bather, J. R., Kovalev, S. V. et al. (2022). Urinary phthalates metabolite concentrations during four windows spanning puberty (prepuberty through sexual maturity) and association with semen quality among young Russian men, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 243: 113977. DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.113977
- 90 Yu, C., Lu, J., Zhao, J., Zhao, T., Long, C., Lin, T., Wu, S. et al. (2022). Maternal phthalates exposure during pregnancy and male reproductive disorders: a systematic review and metaanalysis, *The Turkish Journal of Pediatrics*, 64/2: 187–209. DOI: 10.24953/turkijped.2020.2060
- 91 Bustamante-Montes, L. P., Hernández-Valero, M. A., Flores-Pimentel, D., García-Fábila, M., Amaya-Chávez, A., Barr, D. B., Borja-Aburto, V. H. (2013). Prenatal exposure to Phthalates is associated with decreased anogenital distance and penile size in male newborns, *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 4/4: 300–306. DOI: 10.1017/s2040174413000172
- 92 Cai, W., Yang, J., Liu, Y., Bi, Y., Wang, H. (2019). Association between Phthalates Metabolites and Risk of Endometriosis: A Meta-Analysis, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/19: 3678. DOI: 10.3390/ijerph16193678
- 93 Iizuka, T., Yin, P., Zuberi, A., Kujawa, S., Coon, J. S., Björvang, R. D., Damdimopoulou, P. et al. (2022). Mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalates promotes uterine leiomyoma cell survival through tryptophan-kynurenine-AHR pathway activation, *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 119/47. DOI: 10.1073/pnas.2208886119
- 94 Hu, W., Jin, Z., Wang, H., Wang, F., Qu, F. (2024). Relationship between Phthalates exposure, risk of decreased ovarian reserve, and oxidative stress levels, *Toxicology and Industrial Health*, 40/4: 156–166. DOI: 10.1177/07482337241229761
- 95 Nobles, C. J., Mendola, P., Kim, K., Pollack, A. Z., Mumford, S. L., Perkins, N. J., Silver, R. M. et al. (2023). Preconception Phthalates Exposure and Women's Reproductive Health: Pregnancy, Pregnancy Loss, and Underlying Mechanisms, *Environmental Health Perspectives*, 131/12. DOI: 10.1289/ehp12287
- 96 Ji, H., Wu, Z., Chen, D., Miao, M., Chen, H., Shuai, W., Liang, H. et al. (2023). Individual and joint effects of Phthalates exposure on the risk of early miscarriage, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34/4: 620–628. DOI: 10.1038/s41370-023-00533-1
- 97 Hoffman, S. S., Tang, Z., Dunlop, A., Brennan, P. A., Huynh, T., Eick, S. M., Barr, D. B. et al. (2025). Impact of prenatal phthalates exposure on newborn metabolome and infant neurodevelopment, *Nature Communications*, 16/1. DOI: 10.1038/s41467-025-57273-z
- 98 Land, K. L., Ghuneim, S. M., Williams, B. A., Hannon, P. R. (2024). Phthalates Disrupt Female Reproductive Health: A Call for Enhanced Investigation into Mixtures., *Reproduction*. DOI: 10.1530/rep-24-0117
- 99 Van Wassenaer-Leemhuis, A., Ares, S., Golombek, S., Kok, J., Paneth, N., Kase, J., LaGamma, E. F. (2014). Thyroid Hormone Supplementation in Preterm Infants Born Before 28 Weeks Gestational Age and Neurodevelopmental Outcome at Age 36 Months, *Thyroid*, 24/7: 1162–1169. DOI: 10.1089/thy.2013.0618
- 100 Spowles, J. L. N., Dzwilewski, K. L. C., Merced-Nieves, F. M., Musaad, S. M. A., Schantz, S. L., Geiger, S. D. (2022). Associations of prenatal phthalates exposure with neurobehavioral outcomes in 4.5- and 7.5-month-old infants, *Neurotoxicology and Teratology*, 92: 107102. DOI: 10.1016/j.ntt.2022.107102

- 101 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021a). Prenatal exposure to Phthalates and its effects upon cognitive and motor functions: A systematic review, *Toxicology*, 463: 152980. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152980
- 102 Zhang, Q., Chen, X.-Z., Huang, X., Wang, M., Wu, J. (2019). The association between prenatal exposure to Phthalates and cognition and neurobehavior of children-evidence from birth cohorts, *NeuroToxicology*, 73: 199–212. DOI: 10.1016/j.neuro.2019.04.007
- 103 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martínez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023a). Prenatal exposure to common plasticizers: a longitudinal study on Phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11: 4814–4822. DOI: 10.1038/s41380-023-02225-6
- 104 Dzwilewski, K. L. C., Woodbury, M. L., Aguiar, A., Shoaff, J., Merced-Nieves, F., Korrick, S. A., Schantz, S. L. (2021). Associations of prenatal exposure to Phthalates with measures of cognition in 7.5-month-old infants, *NeuroToxicology*, 84: 84–95. DOI: 10.1016/j.neuro.2021.03.001
- 105 Navaranjan, G., Diamond, M. L., Harris, S. A., Jantunen, L. M., Bernstein, S., Scott, J. A., Takaro, T. K. et al. (2021). Early life exposure to Phthalates and the development of childhood asthma among Canadian children, *Environmental Research*, 197: 110981. DOI: 10.1016/j.envres.2021.110981
- 106 Whyatt, R. M., Perzanowski, M. S., Just, A. C., Rundle, A. G., Donohue, K. M., Calafat, A. M., Hoepner, L. A. et al. (2014). Asthma in Inner-City Children at 5–11 Years of Age and Prenatal Exposure to Phthalates: The Columbia Center for Children’s Environmental Health Cohort, *Environmental Health Perspectives*, 122/10: 1141–1146. DOI: 10.1289/ehp.1307670
- 107 Kim, Y.-M., Kim, J., Cheong, H.-K., Jeon, B.-H., Ahn, K. (2018). Exposure to Phthalates aggravates pulmonary function and airway inflammation in asthmatic children, *PLoS ONE*, 13/12: e0208553. DOI: 10.1371/journal.pone.0208553
- 108 Oh, Y., Hong, S., Park, Y. J., Baek, I. (2024). Association between phthalates exposure and risk of allergic rhinitis in children: A systematic review and meta-analysis, *Pediatric Allergy and Immunology*, 35/9. DOI: 10.1111/pai.14230
- 109 Bolaji, J. A., Bonvini, S. J., Wortley, M. A., Adcock, J. J., Dubuis, E., Carlsten, C., Tetley, T. D. et al. (2017). Phthalates trigger respiratory reflexes, *European Respiratory Journal*, PA4785. DOI: 10.1183/1393003.congress-2017.pa4785
- 110 Yu, Y., Wang, J. Q. (2022). Phthalates exposure and lung disease: the epidemiological evidences, plausible mechanism and advocacy of interventions, *Reviews On Environmental Health*, 39/1: 37–45. DOI: 10.1515/reveh-2022-0077
- 111 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023). Phthalates’ exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457: 131680. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 112 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024). The mitochondrial link: Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)—Molecular Cell Research*, 1871/4: 119708. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 113 Zhu, X., Yin, T., Yue, X., Liao, S., Cheang, I., Zhu, Q., Yao, W. et al. (2021). Association of urinary phthalates metabolites with cardiovascular disease among the general adult population, *Environmental Research*, 202: 111764. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111764
- 114 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023a). Phthalates’ exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457: 131680. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 115 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024a). The mitochondrial link: Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)—Molecular Cell Research*, 1871/4: 119708. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 116 Nevoit, G., Jarusevicius, G., Potyazhenko, M., Mintser, O., Bumblyte, I. A., Vainoras, A. (2025). Mitochondrial Dysfunction and Atherosclerosis: The Problem and the Search for Its Solution, *Biomedicines*, 13/4: 963. DOI: 10.3390/biomedicines13040963
- 117 Sumner, R. N., Tomlinson, M., Craigon, J., England, G. C. W., Lea, R. G. (2019). Independent and combined effects of diethylhexyl phthalates and polychlorinated biphenyl 153 on sperm quality in the human and dog, *Scientific Reports*, 9/1. DOI: 10.1038/s41598-019-39913-9
- 118 Amjad, S., Rahman, M. S., Pang, W.-K., Ryu, D.-Y., Adegoke, E. O., Park, Y.-J., Pang, M.-G. (2021). Effects of Phthalates on the functions and fertility of mouse spermatozoa, *Toxicology*, 454: 152746. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152746
- 119 Hasan, S., Mustari, A., Rafiq, K., Miah, M. A. (2025). Phthalates plasticizer affects blood electrolytes, hormones, and reproductive parameters of black Bengal goats, *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 0: 1. DOI: 10.5455/javar.2024.k856
- 120 Kougiyas, D. G., Sellinger, E. P., Willing, J., Juraska, J. M. (2018). Perinatal Exposure to an Environmentally Relevant Mixture of Phthalates Results in a Lower Number of Neurons and Synapses in the Medial Prefrontal Cortex and Decreased Cognitive Flexibility in Adult Male and Female Rats, *Journal of Neuroscience*, 38/31: 6864–6872. DOI: 10.1523/jneurosci.0607-18.2018
- 121 Morales-Grahl, E., Hilz, E. N., Gore, A. C. (2024). Regrettable Substitutes and the Brain: What Animal Models and Human Studies Tell Us about the Neurodevelopmental Effects of Bisphenol, Per- and Polyfluoroalkyl Substances, and Phthalates Replacements, *International Journal of Molecular Sciences*, 25/13: 6887. DOI: 10.3390/ijms25136887
- 122 Huang, W., Xiao, J., Shi, X., Zheng, S., Li, H., Liu, C., Wu, K. (2022). Effects of di-(2-ethylhexyl) phthalates (DEHP) on behavior and dopamine signaling in zebrafish (*Danio rerio*), *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 93: 103885. DOI: 10.1016/j.etap.2022.103885
- 123 Shi, H., Zhang, Z., Shen, A., Ding, T., Zhao, R., Shi, Y., Zhao, J. et al. (2025). Maternal di(2-ethylhexyl) phthalates exposure increases the risk of congenital heart disease in mice offspring, *Pediatric Research*. DOI: 10.1038/s41390-025-03997-z
- 124 European Chemicals Agency (o. J.). Bisphenols. Recuperado de <https://www.echa.europa.eu/hot-topics/Bisphenole>

- 125 Gonkowski, S., Makowska, K. (2022). Environmental Pollution with Bisphenol A and Phthalates—A Serious Risk to Human and Animal Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/21: 13983. DOI: 10.3390/ijerph192113983
- 126 Rubin, A. M., Seebacher, F. (2022). Bisphenols impact hormone levels in animals: A meta-analysis, *The Science of The Total Environment*, 828: 154533. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154533
- 127 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252: 118966. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118966
- 128 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016). Low-Dose Bisphenol A Exposure: A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI: 10.1002/advs.201600248
- 129 Keshavarz-Maleki, R., Kaviani, A., Omranipour, R., Gholami, M., Khoshayand, M. R., Ostad, S. N., Sabzevari, O. (2021). Bisphenol-A in biological samples of breast cancer mastectomy and mammoplasty patients and correlation with levels measured in urine and tissue, *Scientific Reports*, 11/1. DOI: 10.1038/s41598-021-97864-6
- 130 Chowdhury, E.-U.-R., Banu, H., Morshed, M. S., Jahan, I. A., Kharel, S., Hasanat, M. A. (2025). Raised Bisphenol A has a Significant Association with Adverse Reproductive Manifestations rather than Biochemical or Hormonal Aberrations in Women with Polycystic Ovary Syndrome, *Journal of The ASEAN Federation of Endocrine Societies*. DOI: 10.15605/jafes.040.01.14
- 131 Gore, A.C., La Merrill, M.A., Patisaul, H.B., and Sargis, R. Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. The Endocrine Society and IPEN. February 2024.
- 132 Liu, J., Tian, M., Qin, H., Chen, D., Mzava, S. M., Wang, X., & Bigambo, F. M. (2024). Maternal bisphenols exposure and thyroid function in children: a systematic review and meta-analysis, *Frontiers in Endocrinology*, 15. DOI: 10.3389/fendo.2024.1420540
- 133 Viguié, C., Collet, S. H., Gayraud, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1: 521–528. DOI: 10.1210/en.2012-1401
- 134 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023a). Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1: 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0
- 135 Ebd.
- 136 Moon, S., Yu, S. H., Lee, C. B., Park, Y. J., Yoo, H. J., Kim, D. S. (2020). Effects of bisphenol A on cardiovascular disease: An epidemiological study using National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2016 and meta-analysis, *The Science of The Total Environment*, 763: 142941. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142941
- 137 Prins, G. S., Patisaul, H. B., Belcher, S. M., Vandenberg, L. N. (2018). CLARITY-BPA academic laboratory studies identify consistent low-dose Bisphenol A effects on multiple organ systems, *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 125/S3: 14–31. DOI: 10.1111/bcpt.13125
- 138 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016a). Low-Dose Bisphenol A Exposure: A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI: 10.1002/advs.201600248
- 139 Kitamura, S., Kato, T., Iida, M., Jinno, N., Suzuki, T., Ohta, S., Fujimoto, N. et al. (2004). Anti-thyroid hormonal activity of tetrabromobisphenol A, a flame retardant, and related compounds: Affinity to the mammalian thyroid hormone receptor, and effect on tadpole metamorphosis, *Life Sciences*, 76/14: 1589–601. DOI: 10.1016/j.lfs.2004.08.030
- 140 Viguié, C., Collet, S. H., Gayraud, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012a). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1: 521–528. DOI: 10.1210/en.2012-1401
- 141 Wang, Zhihao, Alderman, M. H., Asgari, C., Taylor, H. S. (2020). Fetal Bisphenol-A Induced Changes in Murine Behavior and Brain Gene Expression Persisted in Adult-aged Offspring, *Endocrinology*, 161/12. DOI: 10.1210/endo/bqaa164
- 142 Morsy, M. M., Ahmad, M. M., Hassan, N. H. (2024). Maternal exposure to low-dose bisphenol A and its potential neurotoxic impact on male pups: A histological, immunohistochemical, and ultrastructural study, *Tissue and Cell*, 90: 102503. DOI: 10.1016/j.tice.2024.102503
- 143 Peremiquel-Trillas, P., Benavente, Y., Martín-Bustamante, M., Casabonne, D., Pérez-Gómez, B., Gómez-Acebo, I., Oliete-Canela, A. et al. (2018). Alkylphenolic compounds and risk of breast and prostate cancer in the MCC-Spain study, *Environment International*, 122: 389–399. DOI: 10.1016/j.envint.2018.12.007
- 144 He, S., Xiao, H., Luo, S., Li, X., Zhang, J.-D., Ren, X.-M., Yang, Y. et al. (2022). Benzotriazole Ultraviolet Stabilizers Promote Breast Cancer Cell Proliferation via Activating Estrogen-Related Receptors  $\alpha$  and  $\gamma$  at Human-Relevant Levels, *Environmental Science & Technology*, 56/4: 2466–2475. DOI: 10.1021/acs.est.1c03446
- 145 Wen, H.-J., Chang, T.-C., Ding, W.-H., Tsai, S.-F., Hsiung, C. A., Wang, S.-L. (2020). Exposure to endocrine disruptor alkylphenols and the occurrence of endometrial cancer, *Environmental Pollution*, 267: 115475. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115475
- 146 Mustieles, V., Balogh, R. K., Axelstad, M., Montazeri, P., Márquez, S., Vrijheid, M., Draskau, M. K. et al. (2023). Benzophenone-3: Comprehensive review of the toxicological and human evidence with meta-analysis of human biomonitoring studies, *Environment International*, 173: 107739. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107739
- 147 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024a). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus: Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287: 117270. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 148 Chen, M., Liang, J., Wei, H., Mu, C., Tang, Y., Wu, X., Jiang, Q. et al. (2024). Association of alkylphenols exposure with serum liver function markers in pregnant women in Guangxi, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282: 116676. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116676

- 149 Scinicariello, F., Buser, M. C. (2016). Serum Testosterone Concentrations and Urinary Bisphenol A, Benzophenone-3, Triclosan, and Paraben Levels in Male and Female Children and Adolescents: NHANES 2011–2012, *Environmental Health Perspectives*, 124/12: 1898–1904. DOI: 10.1289/ehp150
- 150 Huo, W., Cai, P., Chen, M., Li, H., Tang, J., Xu, C., Zhu, D. et al. (2015). The relationship between prenatal exposure to BP-3 and Hirschsprung's disease, *Chemosphere*, 144: 1091–1097. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.09.019
- 151 Nie, Y., Liu, H., Wu, R., Fan, J., Yang, Y., Zhao, W., Bao, J. et al. (2024). Interference with SPARC inhibits Benzophenone-3 induced ferroptosis in osteoarthritis: Evidence from bioinformatics analyses and biological experimentation, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274: 116217. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116217
- 152 Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., Ikeda-Araki, A. et al. (2021). An analytical survey of benzotriazole UV stabilizers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors, *The Science of The Total Environment*, 800: 149374. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149374
- 153 Shi, R., Liu, Z., Liu, T. (2021). The antagonistic effect of bisphenol A and nonylphenol on liver and kidney injury in rats, *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 43/5: 527–535. DOI: 10.1080/08923973.2021.1950179
- 154 Kim, J., Kang, E.-J., Park, M.-N., Kim, J.-E., Kim, S.-C., Jeung, E.-B., Lee, G.-S. et al. (2015). The adverse effect of 4-tert-octylphenol on fat metabolism in pregnant rats via regulation of lipogenic proteins, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40/1: 284–291. DOI: 10.1016/j.etap.2015.06.020
- 155 Yu, J., Luo, Y., Yang, X. F., Yang, M. X., Yang, J., Yang, X. S., Zhou, J. et al. (2016). Effects of perinatal exposure to nonylphenol on delivery outcomes of pregnant rats and inflammatory hepatic injury in newborn rats, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49/12. DOI: 10.1590/1414-431x20165647
- 156 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 157 Blake, B. E., Fenton, S. E. (2020). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes: A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects, *Toxicology*, 443: 152565. DOI: 10.1016/j.tox.2020.152565
- 158 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 159 Van Gerwen, M., Colicino, E., Guan, H., Dolios, G., Nadkarni, G. N., Vermeulen, R. C. H., Wolff, M. S., et al. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure and thyroid cancer risk, *EBioMedicine*, 97: 104831. DOI: 10.1016/j.ebiom.2023.104831
- 160 Seyyedsalehi, M. S., Boffetta, P. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Exposure and Risk of Kidney, Liver, and Testicular Cancers: A Systematic Review and Meta-Analysis, *La Medicina Del Lavoro*, 114/5: e2023040. DOI: 10.23749/mdl.v114i5.15065
- 161 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease: The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925: 171742. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 162 Dragon, J., Hoaglund, M., Badireddy, A. R., Nielsen, G., Schlezinger, J., Shukla, A. (2023). Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Affect Inflammation in Lung Cells and Tissues, *International Journal of Molecular Sciences*, 24/10: 8539. DOI: 10.3390/ijms24108539
- 163 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024a). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease: The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925: 171742. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 164 Von Holst, H., Nayak, P., Dembek, Z., Buehler, S., Echeverria, D., Fallacara, D., John, L. (2021). Perfluoroalkyl substances exposure and immunity, allergic response, infection, and asthma in children: review of epidemiologic studies, *Heliyon*, 7/10: e08160. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08160
- 165 Crute, C. E., Hall, S. M., Landon, C. D., Garner, A., Everitt, J. I., Zhang, S., Blake, B. et al. (2022). Evaluating maternal exposure to an environmental per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) mixture during pregnancy: Adverse maternal and fetoplacental effects in a New Zealand White (NZW) rabbit model, *The Science of The Total Environment*, 838: 156499. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156499
- 166 Rickard, B. P., Rizvi, I., Fenton, S. E. (2021). Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes: PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease, *Toxicology*, 465: 153031. DOI: 10.1016/j.tox.2021.153031
- 167 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 168 Zainab, B., Ayaz, Z., Rashid, U., Farraj, D. A. A., Alkufeidy, R. M., AlQahtany, F. S., Aljowaie, R. M. et al. (2021). Role of Persistent Organic Pollutants in Breast Cancer Progression and Identification of Estrogen Receptor Alpha Inhibitors Using In-Silico Mining and Drug-Drug Interaction Network Approaches, *Biology*, 10/7: 681. DOI: 10.3390/biology10070681
- 169 Kim, S.-H., Nam, K.-H., Hwang, K.-A., Choi, K.-C. (2016). Influence of hexabromocyclododecane and 4-nonylphenol on the regulation of cell growth, apoptosis and migration in prostatic cancer cells, *Toxicology in Vitro*, 32: 240–247. DOI: 10.1016/j.tiv.2016.01.008
- 170 Gorini, F., Iervasi, G., Coi, A., Pitto, L., Bianchi, F. (2018). The Role of Polybrominated Diphenyl Ethers in Thyroid Carcinogenesis: Is It a Weak Hypothesis or a Hidden Reality? From Facts to New Perspectives, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15/9: 1834. DOI: 10.3390/ijerph15091834
- 171 Saquib, Q., Al-Salem, A. M., Siddiqui, M. A., Ansari, S. M., Zhang, X., Al-Khedhairi, A. A. (2022). Organophosphorus Flame Retardant TDCPP Displays Genotoxic and Carcinogenic Risks in Human Liver Cells, *Cells*, 11/2: 195. DOI: 10.3390/cells11020195

- 172 Costa, L. G., De Laat, R., Tagliaferri, S., Pellacani, C. (2013). A mechanistic view of polybrominated diphenyl ether (PBDE) developmental neurotoxicity, *Toxicology Letters*, 230/2: 282–94. DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.11.011
- 173 Poston, R. G., Saha, R. N. (2019). Epigenetic Effects of Polybrominated Diphenyl Ethers on Human Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/15: 2703. DOI: 10.3390/ijerph16152703
- 174 Lv, J.-J., Zhang, Y.-C., Li, X.-Y., Zhang, L.-J., Yixi, Z.-M., Yang, C.-H., Wang, X.-H. (2024). The association between brominated flame retardants exposure with Parkinson's disease in US adults: a cross-sectional study of the National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2016, *Frontiers in Public Health*, 12. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1451686
- 175 Mendy, A., Percy, Z., Braun, J. M., Lanphear, B., La Guardia, M. J., Hale, R., Yoltson, K. et al. (2023a). Exposure to dust organophosphate and replacement brominated flame retardants during infancy and risk of subsequent adverse respiratory outcomes, *Environmental Research*, 235: 116560. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116560
- 176 Luo, K., Zhang, R., Aimuzi, R., Wang, Y., Nian, M., Zhang, J. (2020). Exposure to Organophosphate esters and metabolic syndrome in adults, *Environment International*, 143: 105941. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105941
- 177 Dunnick, J. K., Sanders, J. M., Kissling, G. E., Johnson, C. L., Boyle, M. H., Elmore, S. A. (2014). Environmental Chemical Exposure May Contribute to Uterine Cancer Development: studies with tetrabromobisphenol A, *Toxicologic Pathology*, 43/4: 464–473. DOI: 10.1177/0192623314557335
- 178 Guo, Z., Zhang, L., Liu, X., Yu, Y., Liu, S., Chen, M., Huang, C. et al. (2019). The enrichment and purification of hexabromocyclododecanes and its effects on thyroid in zebrafish, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 185: 109690. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109690
- 179 Usenko, C., Abel, E., Hopkins, A., Martinez, G., Tijerina, J., Kudela, M., Norris, N. et al. (2016). Evaluation of Common Use Brominated Flame Retardant (BFR) Toxicity Using a Zebrafish Embryo Model, *Toxics*, 4/3: 21. DOI: 10.3390/toxics4030021
- 180 Reffatto, V., Rasinger, J. D., Carroll, T. S., Ganay, T., Lundebye, A. -k., Sekler, I., Hershinkel, M. et al. (2017). Parallel in vivo and in vitro transcriptomics analysis reveals calcium and zinc signalling in the brain as sensitive targets of HBCD neurotoxicity, *Archives of Toxicology*, 92/3: 1189–1203. DOI: 10.1007/s00204-017-2119-2
- 181 Turner, A., Filella, M. (2021). Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts, *Environment International*, 156: 106622. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106622
- 182 James M. Brow Ltd., EU Restrictions on the use of Cadmium Pigments (n. d.). Recuperado de <https://www.jamesmbrown.co.uk/regulatory-affairs/eu-restrictions>
- 183 Turner, A., Filella, M. (2020). Lead in plastics—Recycling of legacy material and appropriateness of current regulations, *Journal of Hazardous Materials*, 404: 124131. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124131
- 184 Giulioni, C., Maurizi, V., De Stefano, V., Polisini, G., Teoh, J. Y.-C., Milanese, G., Galosi, A. B. et al. (2023). The influence of lead exposure on male semen parameters: A systematic review and meta-analysis, *Reproductive Toxicology*, 118: 108387. DOI: 10.1016/j.reprotox.2023.108387
- 185 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024a). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252: 118966. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118966
- 186 Chung, H.-K., Nam, J. S., Ahn, C. W., Lee, Y. S., Kim, K. R. (2015). Some Elements in Thyroid Tissue are Associated with More Advanced Stage of Thyroid Cancer in Korean Women, *Biological Trace Element Research*, 171/1: 54–62. DOI: 10.1007/s12011-015-0502-5
- 187 Peana, M., Pelucelli, A., Chasapis, C. T., Perlepes, S. P., Bekiari, V., Medici, S., Zoroddu, M. A. (2022). Biological effects of human exposure to environmental cadmium, *Biomolecules*, 13/1: 36. DOI: 10.3390/biom13010036
- 188 Mason, L. H., Harp, J. P., Han, D. Y. (2014). Pb Neurotoxicity: Neuropsychological Effects of Lead Toxicity, *BioMed Research International*, 2014: 1–8. DOI: 10.1155/2014/840547
- 189 Parithathi, A., Choudhari, N., Dsouza, H. S. (2024). Prenatal and early life lead exposure induced neurotoxicity, *Human & Experimental Toxicology*, 43. DOI: 10.1177/09603271241285523
- 190 Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., Rothenberg, S. J. (2006). Lead Exposure and Cardiovascular Disease—A Systematic Review, *Environmental Health Perspectives*, 115/3: 472–482. DOI: 10.1289/ehp.9785
- 191 Lin, H.-C., Hao, W.-M., Chu, P.-H. (2021). Cadmium and cardiovascular disease: An overview of pathophysiology, epidemiology, therapy, and predictive value, *Revista Portuguesa De Cardiologia (English Edition)*, 40/8: 611–617. DOI: 10.1016/j.repce.2021.07.031
- 192 Hong, H., Xu, Y., Xu, J., Zhang, J., Xi, Y., Pi, H., Yang, L. et al. (2021). Cadmium exposure impairs pancreatic  $\beta$ -cell function and exaggerates diabetes by disrupting lipid metabolism, *Environment International*, 149: 106406. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106406
- 193 Ma, Y., Su, Q., Yue, C., Zou, H., Zhu, J., Zhao, H., Song, R. et al. (2022). The Effect of Oxidative Stress-Induced Autophagy by Cadmium Exposure in Kidney, Liver, and Bone Damage, and Neurotoxicity, *International Journal of Molecular Sciences*, 23/21: 13491. DOI: 10.3390/ijms232113491
- 194 Verzelloni, P., Urbano, T., Wise, L. A., Vinceti, M., Filippini, T. (2024). Cadmium exposure and cardiovascular disease risk: A systematic review and dose-response meta-analysis, *Environmental Pollution*, 345: 123462. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123462
- 195 Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Haron, A. W., Sabri, M. Y., Rajion, M. A. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health, *Veterinary World*, 9/6: 660–671. DOI: 10.14202/vetworld.2016.660-671
- 196 Huff, J., Lunn, R. M., Waalkes, M. P., Tomatis, L., Infante, P. F. (2007). Cadmium-induced Cancers in Animals and in Humans, *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 13/2: 202–212. DOI: 10.1179/oeh.2007.13.2.202
- 197 Bhattacharyya, M. H. (2009). Cadmium osteotoxicity in experimental animals: mechanisms and relationship to human exposures, *Toxicology and applied Pharmacology*, 238/3: 258–265. DOI: 10.1016/j.taap.2009.05.015



More publications  
in our “WWF Wissen” app.  
Download now!



iOS



Android



Also accessible  
via a browser

### Support WWF

IBAN: DE06 5502 0500 0222 2222 22



### Why we are here

To stop the degradation of the planet's natural environment and  
to build a future in which humans live in harmony with nature.

### WWF Alemania

Reinhardtstr. 18 | 10117 Berlín | Alemania

Tel.: +49 30 311 777-700

info@wwf.de | [wwf.de](http://wwf.de)