



La cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos

Philip J Landrigan*, Sarah Dunlop, Marina Treskova, Hervé Raps, Christos Symeonides, Jane Muncke, Margaret Spring, John Stegeman, Bethanie Carney Altmroth, Thomas C Chiles, Maureen Cropper, Megan Deeney, Lizzie Fuller, Roland Geyer, Rachel Karasik, Tiza Mafira, Alexander Mangwiro, Denise Margaret Matias, Yannick Mulders, Yongjoon Park, Costas A Velis, Roel Vermeulen, Martin Wagner, Zhanyung Wang, Ella M Whitman, Tracey J Woodruff, Joacim Rocklöv*.

Lancet 2025; 406: 1044-62

Publicado en línea
el 3 de agosto de 2025
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01447-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01447-3)

Esta publicación en línea ha sido corregida. La versión corregida apareció por primera vez en [thelancet.com](https://www.thelancet.com) el 4 de septiembre de 2025

*Co-Presidentes de *The Lancet*
Cuenta atrás

Observatorio Global
sobre Salud Planetaria, Instituto
Schiller para la Ciencia Integrada
y la Sociedad
(Prof. P J Landrigan MD)

Prof T C Chiles PhD,
E M Whitman AB) y

Departamento de
Biología

(Prof T C Chiles), Boston College,
Chestnut Hill, MA, USA; School of
Biological Sciences, University
of Western Australia, Perth, WA,
Australia

(Prof S Dunlop PhD,
Y Mulders PhD); Plastics and
Human Health, Minderoo
Foundation, Perth, WA,
Australia (Prof S Dunlop,
Y Mulders,

C Symeonides MB ChB); Centre
for Community Child Health,
Royal Children's Hospital,
Parkville, VIC, Australia
(C Symeonides); Heidelberg

Institute of Global Health and
Interdisciplinary Centre for
Scientific Computing,
Heidelberg University,
Heidelberg, Alemania

(M Treskova PhD,

Prof J Rocklöv PhD); Department of
Epidemiology and Global Health,
Umeå University, Umeå, Suecia

(M Treskova, Prof J Rocklöv);
Biomedical Department, Centre
Scientifique de Monaco, Mónaco

(Prof P J Landrigan,
H Raps MD); Food Packaging
Forum, Zürich, Suiza

(J Muncke PhD); Monterey Bay
Aquarium, Monterey, CA, EE.UU.

(M Spring JD); Department of
Biology, Woods Hole
Oceanographic Institution,

Woods Hole, MA,
EE.UU. (Prof. J Stegeman PhD);
Departamento de Ciencias

Biológicas y
Medioambientales,

Los plásticos son un peligro grave, creciente y poco reconocido para la salud humana y planetaria. Los plásticos causan enfermedades y muertes desde la infancia hasta la vejez y son responsables de pérdidas económicas relacionadas con la salud que superan los 1-5 billones de dólares anuales. Estos impactos recaen de forma desproporcionada sobre las poblaciones de bajos ingresos y de riesgo. El principal motor de esta crisis es el crecimiento acelerado de la producción de plástico, que ha pasado de 2 megatoneladas (Mt) en 1950 a 475 Mt en 2022 y se prevé que alcance las 1.200 Mt en 2060. La contaminación por plástico también ha empeorado, y actualmente 8000 Mt de residuos plásticos contaminan el planeta. Menos del 10% del plástico se recicla. Sin embargo, el continuo empeoramiento de los daños causados por los plásticos no es inevitable. Al igual que ocurre con la contaminación atmosférica y el plomo, los daños causados por los plásticos pueden mitigarse de forma rentable mediante leyes y políticas basadas en pruebas, con un seguimiento transparente, aplicadas eficazmente y financiadas adecuadamente. Para hacer frente a los daños causados por los plásticos en todo el mundo, los Estados miembros de las Naciones Unidas decidieron por unanimidad en 2022 elaborar un instrumento exhaustivo y jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, a saber, el Tratado Mundial sobre los Plásticos, que abarca todo el ciclo de vida del plástico. Coincidiendo con la finalización prevista de este tratado, estamos lanzando un sistema de seguimiento mundial independiente basado en indicadores: la Cuenta atrás de *Lancet* sobre la salud y los plásticos. Esta cuenta atrás identificará, seguirá e informará periódicamente sobre una serie de indicadores representativos geográfica y temporalmente que controlarán los avances hacia la reducción de la exposición a los plásticos y la mitigación de sus daños para la salud humana y planetaria.

Introducción

Los plásticos son el material que define nuestra era⁽¹⁾. Los plásticos son materiales químicos complejos y manufacturados que comprenden una matriz polimérica y múltiples sustancias químicas adicionales⁽²⁾. Más del 98% de los plásticos se fabrican a partir de carbono fósil: gas, petróleo y carbón³⁻⁵. Los plásticos son flexibles, duraderos, cómodos y se perciben como baratos. Los plásticos son omnipresentes en las sociedades modernas y han contribuido a los avances en muchos campos, como la medicina, la ingeniería, la electrónica y la industria aeroespacial. Sin embargo, cada vez está más claro que los plásticos plantean peligros graves, crecientes e infravalorados para la salud humana y planetaria⁽⁶⁾. Además, los plásticos no son tan baratos como parecen y son responsables de enormes costes económicos ocultos que soportan gobiernos y sociedades.⁷

Las primeras advertencias sobre los peligros ecológicos que plantean los plásticos⁸ se hicieron realidad en las décadas de 19G y 1970 con

informes de residuos plásticos que obstruyen el tracto gastrointestinal de las aves marinas, enredan a las tortugas marinas y matan a los mamíferos marinos⁽⁹⁾. Estos peligros fueron seguidos por el descubrimiento de abundantes partículas de plástico en el Mar de los Sargazos⁽¹⁰⁾ y el reconocimiento de que las partículas microplásticas son omnipresentes en las aguas superficiales y los sedimentos oceánicos, detectándose microplásticos y sustancias químicas plásticas en especies marinas y terrestres de todo el mundo.¹¹⁻¹⁵

El potencial de los plásticos para dañar la salud humana se reconoció en la década de 1970 con la observación de cuatro casos de angiosarcoma hepático entre los trabajadores de la polimerización del cloruro de polivinilo (PVC) en Kentucky, EE.UU., expuestos ocupacionalmente al monómero de cloruro de vinilo⁽¹⁶⁾. Se observan daños adicionales para la salud dada la alta incidencia de lesiones, enfermedades y muertes entre los trabajadores que extraen materias primas de carbono para la producción de plástico mediante fracturación hidráulica, perforación petrolífera y minería del carbón. Las elevadas tasas de mortinatos, partos prematuros, asma y leucemia en las comunidades cercanas a los pozos de fracturación hidráulica y a las instalaciones de producción de plásticos demuestran que los daños del plástico van más allá del lugar de trabajo y afectan a personas de todas las edades.¹⁷ Los estudios nacionales de biomonitorización respaldan estos hallazgos y documentan la presencia de múltiples sustancias químicas plásticas ampliamente utilizadas, incluidos bisfenoles, ftalatos, retardantes de llama bromados y sustancias perfluoradas y polifluoradas (PFAS) en el organismo de casi todas las personas examinadas, incluidos recién nacidos y mujeres embarazadas.^{18,19} Cada vez se detectan más partículas microplásticas y nanoplásticas (MNP) en muestras biológicas humanas, como sangre, leche materna, hígado, riñón, colon, placenta, pulmón, bazo, cerebro y corazón, en poblaciones de todo el mundo.²⁰ Además, los retardantes de llama bromados se encuentran ampliamente en el polvo doméstico.²¹ Una declaración de consenso de 2020 advertía de la amenaza para la salud de múltiples sustancias plásticas.

Estrategia de búsqueda y criterios de selección

Para identificar información recientemente reportada sobre los impactos de los plásticos en la salud, se utilizó PubMed para identificar artículos publicados en inglés entre el 30 de septiembre de 2020 y el 24 de enero de 2025. Nuestro

Las dos preguntas de búsqueda fueron: "¿Cuáles son los efectos de los plásticos y las sustancias químicas plásticas sobre los resultados relacionados con la salud?", y "¿Cuáles son las vías o mecanismos subyacentes a través de los cuales se producen estos efectos?". Nuestros términos de búsqueda fueron: "plastics", "plastic-associated chemicals", "plastic waste", y "health-related outcomes". Dos autores (MT y JR) revisaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los registros identificados y deduplicados (n=2887) utilizando nuestro alcance y objetivos predefinidos. Se incluyeron referencias adicionales sobre la base del conocimiento experto de los autores de la bibliografía pertinente.

²²Tras analizar estos datos, la Comisión Minderoo-Monaco sobre los plásticos y la salud humana concluyó en 2023 que los plásticos ponen en peligro la salud humana y planetaria en todas las fases de su ciclo de vida. ciclo de vida: en materia prima extracción, producción primaria, producto fabricación, el transporte, uso, reciclaje y posterior eliminación en el medio ambiente⁽²³⁾. Los daños de los plásticos para la salud humana y planetaria están empeorando⁽²⁴⁾, impulsados principalmente por los continuos aumentos anuales en la producción de nuevos plásticos. La producción mundial de plásticos se ha multiplicado por más de 250, pasando de menos de 2 megatoneladas (Mt) en 1950 a 475 Mt en 2022²⁵⁻²⁷, y los aumentos más rápidos se han registrado en la producción de plásticos de un solo uso. En consecuencia, la generación de residuos plásticos ha aumentado en paralelo. Si no se interviene, se prevé que la producción mundial de plástico casi se triplique de aquí a 2060

(figura 1).²⁹

Necesidad de intervención

El continuo empeoramiento de los daños asociados a los plásticos no es inevitable. Al igual que ocurre con la contaminación atmosférica, el plomo, el mercurio, el cambio climático y los clorofluorocarbonos, los daños causados por los plásticos pueden mitigarse con éxito y de forma rentable mediante leyes y políticas basadas en pruebas, respaldadas por medidas de apoyo (por ejemplo, transparencia, regulación y supervisión) y facilitadas por medidas de aplicación eficaces (por ejemplo, aplicación justa y financiación adecuada; recuadro 1).

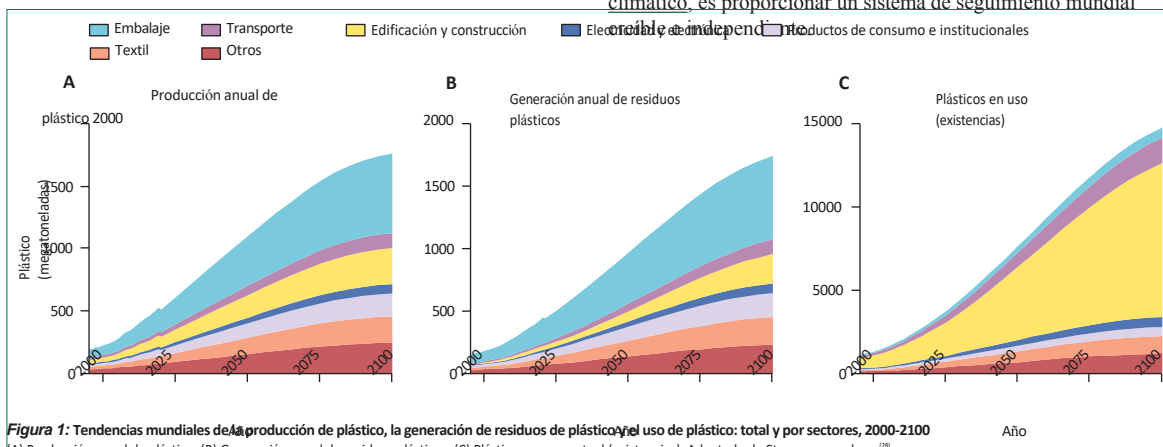
En respuesta a los daños cada vez más visibles de los plásticos, los gobiernos han empezado a actuar a nivel subnacional, nacional y, en el caso de la UE, supranacional. Estas intervenciones son variadas y suelen dirigirse a daños, productos o usos específicos del plástico, por lo que son necesariamente fragmentarias. Algunos ejemplos de estas intervenciones son la prohibición de determinados plásticos de un solo uso⁽⁴⁰⁾, la eliminación o restricción de sustancias químicas nocivas en los plásticos^(19,41,42), el establecimiento de objetivos estatales de reducción de envases de plástico⁽⁴³⁾, el incentivo de la reutilización⁽⁴⁴⁾ y el control de microplásticos en el agua potable^(44,45).

Para frenar los daños causados por los plásticos en todo el mundo, la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) resolvió por unanimidad en marzo de 2022 elaborar un instrumento internacional jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos: el Tratado Mundial sobre los Plásticos⁽⁴⁶⁾. La elaboración y aplicación de este tratado brinda una oportunidad única para reducir los daños causados por los plásticos a lo largo de todo su ciclo de vida y salvaguardar la salud humana y planetaria.

Durante las negociaciones, un grupo diverso de Estados miembros de la ONU, incluidos los miembros de la Coalición de Gran Ambición para Acabar con la Contaminación por Plásticos, han apoyado la protección de la salud humana como objetivo del tratado. En el momento de redactar este informe, más de 100 Estados miembros de la ONU han apoyado el establecimiento de objetivos mundiales para reducir la producción de polímeros plásticos primarios a niveles sostenibles⁽⁴⁷⁾ y un número aún mayor ha pedido la eliminación progresiva de los productos plásticos y las sustancias químicas plásticas más nocivas.⁴⁸⁻⁵⁰

La OMS, que participa en el proceso de negociación en calidad de observadora, ha propuesto tres principios rectores: en primer lugar, que la consecución del más alto nivel de salud humana y ambiental debe ser un objetivo central del Tratado Mundial sobre los Plásticos; en segundo lugar, que los riesgos para la salud conocidos y previstos asociados a los polímeros plásticos, los productos químicos y aditivos y los nanopartículas deben abordarse en todas las etapas del ciclo de vida de los plásticos; y en tercer lugar, que es fundamental garantizar el acceso a productos sanitarios seguros y eficaces que sean de buena calidad y asequibles para todos.⁵¹ Además, las partes interesadas del ámbito de la salud han argumentado que el sector sanitario, con su considerable uso de plásticos, no debería quedar exento del Tratado Mundial sobre los Plásticos.⁵²

La Cuenta Atrás de The Lancet sobre la salud y los plásticos. Coincidiendo con la finalización prevista del Tratado Mundial sobre los Plásticos, estamos lanzando un sistema de seguimiento mundial de los plásticos centrado en la salud y basado en indicadores: la Cuenta Atrás de The Lancet sobre la salud y los plásticos. El objetivo de esta Cuenta Atrás, que se guiará e informará por la Cuenta Atrás de Lancet sobre salud y cambio climático, es proporcionar un sistema de seguimiento mundial



Universidad de Gotemburgo, Gotemburgo, Suecia (Prof B Carney Almroth PhD); Departamento de Economía, Universidad de Maryland, College Park, MD, EE.UU. (Prof M Cropper PhD); Resources for the Future, Washington DC, WA, USA (Prof M Cropper); Department of Population Health, London School of Hygiene & Tropical Medicine, London, UK (M Deeney MSc); Sheltering Earth, Byron Bay, NSW, Australia (L Fuller BA LLB); Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara, CA, EE.UU. (Prof. R Geyer PhD); Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Noruega (R Karasik MEM); Dietplastik Indonesia, Yakarta, Indonesia (T Mafira LLM); PR3: the Global Alliance to Advance Reuse, EE.UU. (T Mafira); Secretaría de los Convenios de Basilea, Rotterdam y Estocolmo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ginebra, Suiza (A Mangwiro AB); Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde, Alemania (Prof. D M Matias PhD); Non-Timber Forest Products, Exchange Programme Asia, Quezon City, Filipinas (Prof D M Matias); Observatorio de Manila, Quezon City, Filipinas (Prof D M Matias); Centro de Investigación para el Desarrollo, Universidad de Bonn, Bonn, Alemania (Prof D M Matias); Department of Resource Economics, University of Massachusetts Amherst, Amherst, MA, USA (Y Park PhD); Institute for Risk Assessment Sciences, Division of Environmental Epidemiology and Centro Julius de Ciencias de la Salud y Atención Primaria, Centro Médico Universitario de Utrecht, Universidad de Utrecht, Utrecht, Países Bajos (Prof R Vermeulen PhD); Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental, Imperial College London, Londres, Reino Unido (C A Velis PhD); Departamento de Biología, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, Trondheim, Noruega (Prof M Wagner PhD); Empa, Laboratorios Federales Suizos de Ciencia y Tecnología de Materiales, Partículas-Biología Laboratorio de Interacciones, St. Gallen, Suiza

(Z Wang PhD); National Centre of Competence in Research Catalysis, Zürich, Suiza (Z Wang); Program on Reproductive Health and the Environment, Department of Obstetrics, Gynecology and Reproductive Sciences, University of California, San Francisco, CA, EE.UU. (Prof. T J Woodruff PhD)

Correspondencia a: Prof Philip J Landrigan, Global Observatory on Planetary Health, Schiller Institute for Integrated Science and Society, Boston College, Chestnut Hill, MA 02467, EE.UU. landrignp@bc.edu

Para la Coalición de Gran Ambición para Acabar con la Contaminación por Plásticos, véase <https://hactoendplasticpollution.org/hac-member-states-ministerial-joint-statement-for-inc-5>

Para consultar la cuenta atrás de The Lancet sobre salud y cambio climático, véase <https://lancetcountdown.org>

Panel 1: Lecciones aprendidas de otras amenazas para la salud mundial

Los éxitos logrados en el control de otras amenazas medioambientales para la salud ofrecen lecciones para el control de la crisis del plástico. La legislación sobre aire limpio ha reducido la contaminación atmosférica en muchos países, mejorando así la calidad del aire y evitando millones de muertes prematuras^[30]. El plomo ya se ha eliminado de la gasolina de los automóviles en todos los países, lo que ha dado lugar a una reducción drástica de los niveles de plomo en la sangre de los niños y a un aumento de la función cognitiva de los niños, y ha contribuido a reducir el riesgo de hipertensión, cardiopatías y accidentes cerebrovasculares en los adultos^[31]. El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono ha reducido considerablemente las emisiones de clorofluorocarburos que agotan la capa de ozono y sus alternativas, lo que ha permitido la recuperación de la capa de ozono estratosférica y ha contribuido a evitar muertes por melanoma maligno.^[32,33] El Convenio de Minamata sobre el Mercurio está coordinando una eliminación progresiva del mercurio a escala mundial para proteger a los bebés y los niños de la neurotoxicidad en el desarrollo.^[34]

Estas intervenciones han demostrado ser muy rentables. Por ejemplo, se calcula que cada dólar invertido en el control de la contaminación atmosférica en EE.UU. desde 1970 ha reportado un beneficio económico de 30 dólares al reducir los costes sanitarios y aumentar la productividad económica de una población más sana y longeva.^[35] La eliminación del plomo de la gasolina ha beneficiado la salud de naciones enteras al aumentar la inteligencia, el capital humano y la productividad económica.

del plomo de la gasolina ha beneficiado la salud de naciones enteras al aumentar la inteligencia, el capital humano y la productividad económica. En Estados Unidos, se calcula que la eliminación del plomo ha añadido 200.000 millones de dólares a la economía en cada cohorte anual de nacimientos desde 1980: un beneficio agregado de más de 8 billones de dólares en las últimas cuatro décadas.^[31]

De estas intervenciones se desprenden dos lecciones clave. En primer lugar, la salud importa. El reconocimiento de que una amenaza medioambiental perjudica la salud humana, especialmente la de los niños, tiene muchas más probabilidades de catalizar el compromiso público e impulsar un cambio significativo en todos los niveles de la sociedad que una conversación centrada únicamente en el medio ambiente. En segundo lugar, los datos importan. Los datos son necesarios para identificar las fuentes de una amenaza para la salud, medir el alcance y la gravedad de la exposición en las poblaciones, cuantificar los efectos sobre la salud, seguir las tendencias temporales y los patrones geográficos, evaluar la eficacia de las intervenciones y orientar las correcciones. Los datos también desempeñan un papel clave para contrarrestar la desinformación y los intentos de lavado verde, como las falsas afirmaciones de la industria del plástico de que todos los plásticos pueden reciclarse^[35-37] o que los residuos plásticos pueden quemarse de forma segura para obtener energía y generar créditos plásticos en industrias como la del cemento^[38,39].

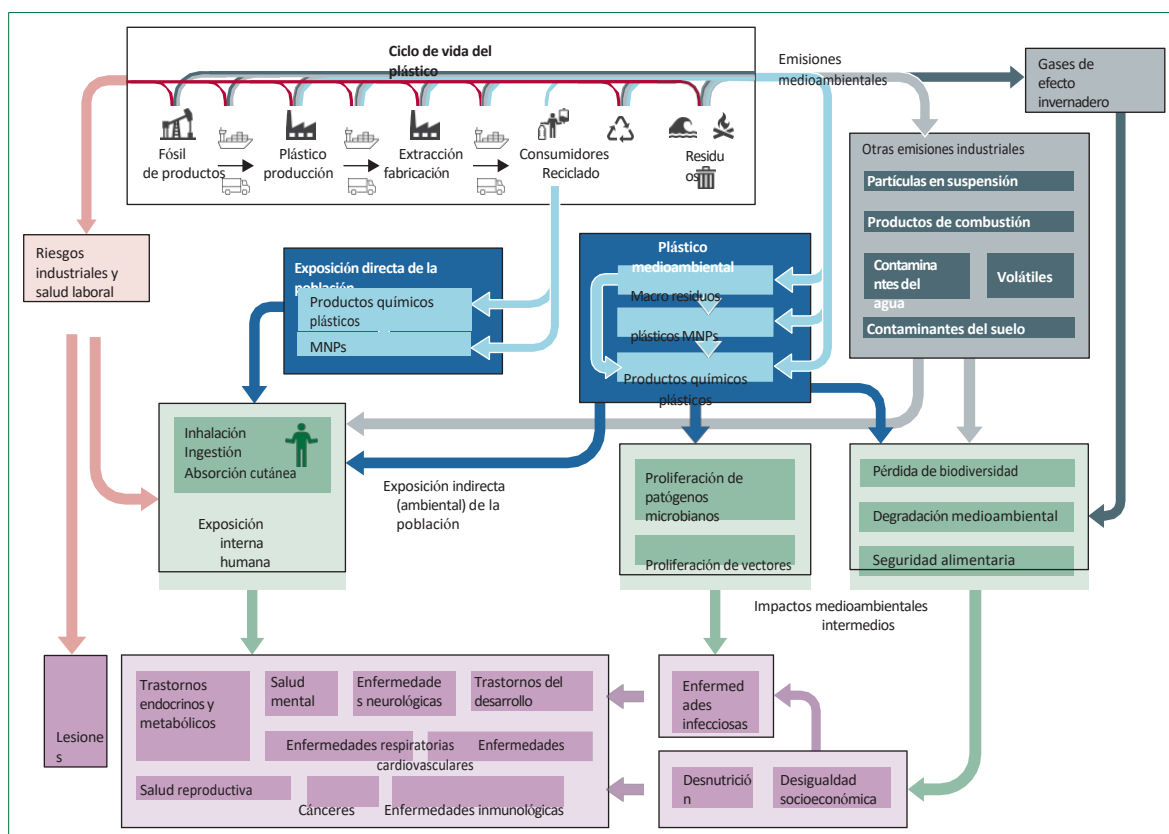


Figura 2: Impacto potencial de los plásticos en la salud a lo largo de su ciclo de vida
MNP=partículas microplásticas y nanoplásticas.

que hará un seguimiento de los avances hacia la reducción de la exposición a los plásticos y la mitigación de sus daños para la salud humana y planetaria a medida que entre en vigor el Tratado Mundial sobre los Plásticos. Esta cuenta atrás identificará, seguirá e informará periódicamente sobre un conjunto de indicadores científicamente significativos y geográfica y temporalmente representativos que documenten los impactos de los plásticos y de sus productos químicos en la salud humana y planetaria en todas las etapas del ciclo de vida del plástico.

Esta Cuenta Atrás seguirá las tendencias y pautas mundiales de producción, consumo y generación de residuos plásticos, y controlará la exposición a la contaminación asociada a los plásticos, los productos químicos plásticos y los nanopartículas. La Cuenta Atrás rastreará y cuantificará los daños asociados a los plásticos para la salud humana y planetaria y los costes económicos relacionados con la salud que se derivan de esos daños. La Cuenta Atrás documentará el impacto de los plásticos en las poblaciones de riesgo y hará un seguimiento e informará sobre las respuestas políticas gubernamentales, las intervenciones e innovaciones no gubernamentales y los impedimentos para la resolución de la crisis mundial de los plásticos. Además, la Cuenta Atrás destacará los beneficios para la salud de las intervenciones y las oportunidades perdidas por la inacción, lo que proporcionará datos que pueden informar la toma de decisiones a todos los niveles en beneficio de la salud pública.

Uno de los objetivos de esta Cuenta Atrás será situar los efectos de los plásticos sobre la salud en el centro de la conversación sobre los plásticos, para subrayar que la crisis de los plásticos es más que un problema medioambiental y también una amenaza grave y cada vez mayor para la salud humana y planetaria. Los orígenes de la Cuenta Atrás, su estructura y los planes para su futuro desarrollo se describen en esta Política Sanitaria.

Daños de los plásticos para la salud humana y

planetaria Para subrayar la necesidad de la Cuenta atrás de *Lancet* sobre la salud y los plásticos, que realizará un seguimiento independiente de los avances a medida que entre en vigor el Tratado sobre los plásticos, presentamos aquí un breve resumen de los daños de los plásticos para la salud humana y planetaria a lo largo del ciclo de vida del plástico, con especial énfasis en la nueva información que ha surgido desde la publicación en 2023 del informe de la Comisión Minderoo-Monaco sobre los plásticos y la salud humana.²³

Basándose en ese trabajo previo, la Cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos ha desarrollado un diagrama de vías que resume los impactos de los plásticos sobre la salud (figura 2). La mayoría de estos daños establecidos están mediados por la exposición a los productos químicos del plástico, mientras que otros podrían deberse a los nanopartículas. Otros efectos sobre la salud son consecuencia de los riesgos industriales y laborales y de los gases contaminantes y de efecto invernadero (GEI) liberados al medio ambiente en la extracción de materias primas de carbono, la producción y fabricación de plásticos y la eliminación de residuos (figura 2). La Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos ha subrayado que las soluciones sostenibles al empeoramiento de los daños asociados a los plásticos requerirán políticas centradas en la justicia que promuevan los derechos humanos.⁽⁵³⁾ La Comisión Minderoo-Monaco concluyó que los plásticos dañan la salud humana y planetaria en cada etapa del ciclo de vida del plástico (recuadro 2).

Recuadro 2: Resumen de las principales conclusiones de la Comisión Minderoo-Monaco

La Comisión Minderoo-Monaco sobre los plásticos y la salud humana presentó una evaluación exhaustiva de los daños asociados a los plásticos para la salud humana y de los ecosistemas²³:

- Los modelos actuales de producción, uso y eliminación de plásticos causan enfermedades, discapacidades y muertes en todas las fases del ciclo de vida del plástico.
- Los lactantes y los niños pequeños son muy susceptibles a los daños asociados a los plásticos. La exposición a plásticos y sustancias químicas plásticas en las primeras etapas de la vida está relacionada con un mayor riesgo de aborto espontáneo, prematuridad, mortinatalidad, bajo peso al nacer y defectos congénitos de los órganos reproductores, trastornos del desarrollo neurológico, crecimiento pulmonar deficiente y cáncer infantil. La exposición a sustancias químicas del plástico en los primeros años de vida puede contribuir a reducir la fertilidad humana y a aumentar el riesgo de enfermedades no transmisibles, como el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares en la edad adulta.
- La producción de plásticos es muy intensiva en energía, libera cada año a la atmósfera más de 2 gigatoneladas de CO₂ equivalente y otros gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, y perjudica la salud al acelerar el cambio climático.
- El aumento de la producción de plástico es el principal motor del empeoramiento de los daños a la salud humana y planetaria.
- Dado que menos del 10% del plástico se recicla y que los residuos plásticos pueden persistir en el medio ambiente durante décadas, se calcula que 8.000 millones de toneladas de residuos plásticos, es decir, el 80% de todo el plástico fabricado, contaminan actualmente el planeta⁽²⁵⁾.
- El océano es el destino final de gran parte de los residuos plásticos, y se calcula que cada año entran en él entre 10 y 12 millones de toneladas de plástico. Muchos plásticos parecen resistir la descomposición en el océano y podrían persistir durante décadas.
- Las partículas microplásticas y nanoplásticas (MNP), resultantes de la descomposición de materiales plásticos de mayor tamaño, son una amenaza emergente para la salud. Aunque todavía no se conocen del todo sus efectos sobre la salud, cada vez son más los estudios que señalan la presencia de microplásticos en múltiples tejidos humanos y empiezan a relacionarlos con enfermedades.
- El plástico es caro. Es responsable de pérdidas económicas relacionadas con la salud que incluyen costes sanitarios (p. ej., costes de servicios médicos, hospitalización y medicamentos) y pérdidas de productividad (p. ej., pérdida de producción económica o de ingresos como consecuencia de enfermedades, discapacidad o muerte prematura). En 2015, los costes sanitarios de la producción de plásticos ascendieron a casi 600.000 millones de dólares en todo el mundo, más que el producto interior bruto de Nueva Zelanda o Finlandia.²³ Las sustancias químicas de los plásticos, como el PBDE (retardante de llama), el bisfenol (BPA; monómero) y el di(2-etilhexil)ftalato (DEHP; plastificante) son responsables de costes económicos adicionales relacionados con la salud. Sólo en Estados Unidos, los costes anuales de las enfermedades causadas por PBDE, BPA y DEHP superan los 675.000 millones de dólares.
- Estas estimaciones subestiman los costes totales de los daños para la salud relacionados con los plásticos porque sólo examinan unos pocos países y un subconjunto de sustancias químicas plásticas. Los costes son externalizados por las industrias de fabricación de combustibles fósiles y plásticos y asumidos por los gobiernos y los contribuyentes.
- Los modelos actuales de producción, uso y eliminación de plásticos son insostenibles y social y medioambientalmente injustos. Los daños asociados a los plásticos perjudican de manera desproporcionada a las poblaciones marginadas y desfavorecidas⁽⁵⁴⁾. Para hacer frente a estas desigualdades será necesario un enfoque polifacético que se centre en la justicia e incorpore la equidad y la inclusión en todos los niveles de las políticas y la toma de decisiones.

Producción de plástico

La producción mundial anual de plástico ha pasado de 2 Mt en 1950 a 475 Mt en 2022²⁹. La producción acumulada de plástico primario (o virgen) desde 1950 supera las 10 gigatoneladas (Gt). La mitad de todo el plástico que se ha fabricado se ha producido desde 2010 (figura 1)⁽⁵⁵⁾. En ausencia de intervención, se prevé que la producción anual mundial aumente a entre 749 Mt⁽⁵⁶⁾ y 97G Mt para 2050⁽²⁹⁾ y a 1-2 Gt para 20G0.²⁹

Un factor clave de la reciente aceleración de la producción de plásticos es el giro dado por las corporaciones de combustibles fósiles y las naciones que son los principales productores de plásticos y petroquímicos en respuesta a la disminución de la demanda de energía fósil.^{24,57} Por ejemplo, la Saudi Arabian Oil Company planea canalizar alrededor de un tercio de su producción de petróleo a plásticos y petroquímicos para 2030, y Shell ha abierto recientemente una nueva planta de craqueo en el oeste de Pensilvania, EE.UU., que transformará el gas de fracturación de los Apalaches en pellets de plástico.⁵⁷ China es el mayor productor de plásticos primarios (208 Mt), superando tanto a Norteamérica (71 Mt) como a Europa (GG Mt) en 2020.⁽⁵⁸⁾ Sin embargo, el uso de plástico per cápita es mayor en Norteamérica (195 kg/año) y Europa (187 kg/año) que en China (138 kg/año).⁽⁵⁹⁾ Los plásticos desechables de un solo uso, especialmente los materiales de envasado, son el segmento de la producción de plástico que crece con mayor rapidez.⁽⁵⁸⁾ Se calcula que los artículos de un solo uso representan entre el 35 y el 40% de la producción actual de plástico y contribuyen de forma desproporcionada a los residuos plásticos, ya que representan aproximadamente el 65% de los plásticos desechados.⁽⁵⁹⁾ Los datos sobre residuos sólidos urbanos indican que los niveles de consumo de plástico en muchos países podrían ser superiores a los de China.

de lo que indican las fuentes oficiales.⁶⁰

Producción de plástico y cambio climático

La producción de plástico es intensiva en energía. En 2018, la Agencia Internacional Energy estimó que el 14% del uso primario de petróleo y el 8% del uso primario de gas natural se destinaron a la fabricación petroquímica, y que aproximadamente la mitad se destinó a la producción de plástico.^(61,62) Las predicciones indican que con los aumentos futuros previstos en la producción de plástico, hasta el 20% de todos los combustibles fósiles podrían utilizarse en la fabricación de plásticos para 2050.^{61,63,64}

En 2020, la producción de plásticos fue responsable de la liberación de 2-45 Gt de CO₂ equivalente (CO_{2e}) de GEI,^{59,65} lo que representa aproximadamente el 5% de las emisiones industriales de GEI a nivel mundial. Se calcula que el 44% de estas emisiones proceden del carbón, el 40% del petróleo y el 8% del gas natural.⁽⁶⁾ Estas cantidades varían según la región, reflejando las diferencias en la mezcla de materias primas fósiles de carbono. Así, en Asia, el carbón es la fuente predominante de emisiones de GEI en la producción de plásticos, mientras que en Norteamérica, el gas y el petróleo son más considerables.

Según las proyecciones de una evolución sin cambios, que suponen una tasa de crecimiento anual del 4-0% en la producción de plástico y la ausencia de intervenciones, estima que las emisiones de GEI asociadas al plástico podrían triplicarse aproximadamente en 2050 hasta alcanzar las G-78 Gt de CO_{2e} al año.⁽⁶⁵⁾ Intervenciones como la descarbonización de la red eléctrica⁶⁶ y otras políticas de mitigación del cambio climático⁶⁶ podrían limitar estos aumentos previstos. Frente a estas proyecciones, cada vez hay más presión para frenar el continuo aumento incontrolado de la producción de plástico a partir de combustibles fósiles⁶⁶ y para romper el arraigado y acelerado bloqueo al cambio climático provocado por el plástico.^{65,67,68}

Subvenciones gubernamentales para la producción de

plásticos Los gobiernos de muchos países apoyan la producción de polímeros plásticos primarios y sus derivados.

monómeros a través de diversos mecanismos. Las subvenciones se conceden principalmente a través de la subvaloración de las materias primas de hidrocarburos (principalmente alcanos como el etano y el propano, y mezclas de alcanos como la nafta), y de la energía utilizada para producir monómeros (etileno, propileno, etc.) y polímeros (polietileno, polipropileno, etc.), pero también a través de subvenciones, exenciones fiscales y préstamos por debajo del mercado. A escala mundial, se calcula que las subvenciones concedidas a través de los subsidios a los precios de las materias primas y la energía ascendieron a 43.000 millones de dólares en 2024, y se prevé que aumenten hasta 78.000 millones de dólares en 2050 en un escenario sin cambios.⁽⁶⁹⁾

Efectos de la producción de plástico sobre la salud

Los trabajadores que producen plástico están expuestos a una amplia gama de sustancias químicas tóxicas, incluidos agentes cancerígenos, como benceno, 1,3-butadieno, formaldehído, cloruro de vinilo y polvos peligrosos en suspensión en el aire, que pueden provocar enfermedades y muerte prematura. Además, los trabajadores también corren un alto riesgo de sufrir lesiones traumáticas. La Comisión Minderoo-Monaco estimó de forma conservadora que en 2015 se produjeron aproximadamente 32 000 muertes prematuras en todo el mundo entre los trabajadores de la producción de plásticos, lo que supuso unos costes económicos anuales relacionados con la salud de 40 millones de dólares.²³

Más allá del lugar de trabajo, la producción de plástico contamina el aire, el agua y el suelo. Las emisiones atmosféricas de la producción de plástico incluyen partículas (PM_{2.5}), dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, así como otras sustancias químicas peligrosas a las que están expuestos los trabajadores del plástico. Estas emisiones provocan elevadas tasas de enfermedad, discapacidad y muerte prematura en las comunidades aledañas a los pozos de petróleo y gas y a las instalaciones de producción entre personas de todas las edades, incluidos bebés y niños. En 2015, las emisiones de PM_{2.5} procedentes de la producción de plásticos fueron responsables de unas 158 000 muertes prematuras en todo el mundo y de pérdidas económicas relacionadas con la salud de más de 200 000 millones de dólares.⁽²³⁾ Más del 75% de estas muertes se produjeron en China y otras partes de Asia.

Las emisiones de GEI procedentes de la producción de plásticos amplifican los impactos sobre la salud causados por los plásticos. Según la Cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y cambio climático, las emisiones de GEI están relacionadas con una amplia gama de riesgos para la salud, como olas de calor, incendios, inundaciones, sequías, malas cosechas y enfermedades transmitidas por vectores.⁷¹

Productos químicos plásticos

Más de 1.000 sustancias químicas pueden estar presentes en los plásticos.⁽⁹⁾ La mayoría de los daños para la salud asociados al uso de plásticos se deben a sustancias químicas preocupantes⁷², incluidas las sustancias químicas utilizadas intencionadamente en la fabricación de plásticos, como sustancias de partida (por ejemplo, monómeros y catalizadores), auxiliares tecnológicos (por ejemplo, lubricantes) y aditivos (por ejemplo, plastificantes, retardantes de llama, cargas, colorantes y estabilizadores).^(73,74) Las sustancias químicas preocupantes también incluyen sustancias no añadidas intencionadamente, como impurezas, subproductos, contaminantes y productos de degradación y transformación.^{2,74}

La mayoría de las sustancias químicas de los plásticos, incluidos los aditivos, no están unidas químicamente a las matrices poliméricas. En su lugar, se mezclan físicamente con los polímeros y pueden liberarse de los plásticos y llegar al medio ambiente circundante por lixiviación, volatilización y abrasión⁽⁷⁵⁻⁷⁷⁾. A continuación, estas sustancias químicas pueden entrar en el cuerpo humano por ingestión, inhalación y absorción dérmica.²³

La exposición humana a las sustancias químicas plásticas es amplia. Las encuestas nacionales de biovigilancia detectan niveles medibles de varios cientos de sustancias químicas sintéticas, incluidas las sustancias químicas del plástico, en personas de todas las edades, incluidos los recién nacidos expuestos en el útero, en todas las regiones del mundo.^{18,78-}

⁸⁰Entre las sustancias químicas ampliamente detectadas en estas encuestas se incluyen los bisfenoles relacionados con el plástico,⁸¹⁻⁸³ las benzofenonas,⁸² los antioxidantes fenólicos,⁸⁴ ftalatos⁽⁸⁵⁾ bromados^{86,87}. Los

productos plásticos y los nanopartículas modificadas genéticamente contribuyen a la exposición humana a estas sustancias químicas en distinta medida según los países, ya que muchas de estas sustancias también se utilizan en otros productos de consumo y aplicaciones industriales.

Los materiales en contacto con alimentos son una fuente importante de exposición humana a las sustancias químicas plásticas⁽²²⁾. Los envases de alimentos⁸⁹, las botellas y bolsitas de agua potable⁽⁹⁰⁾, las bolsas de alimentos infantiles⁹¹, la vajilla y los equipos de procesamiento de alimentos pueden liberar sustancias químicas plásticas directamente en los alimentos y las bebidas. Una revisión sistemática de 947 estudios sobre materiales plásticos en contacto con alimentos informó de que 1481 (40%) de las sustancias químicas 3G9G se liberan en alimentos o simulantes alimentarios en condiciones específicas.⁹²⁻⁹⁴ Se han detectado más de 139G sustancias químicas plásticas en contacto con alimentos en seres humanos de todas las edades.^{95,96} La migración de sustancias químicas plásticas a los alimentos aumenta a temperaturas más altas y con periodos más largos de tiempo de contacto. El contenido de grasa y la acidez de los alimentos también influyen en el grado de liberación, al igual que el tamaño de la ración, ya que la relación entre la superficie del envase y el volumen del alimento aumenta a medida que disminuye el tamaño de la ración; este aspecto es especialmente preocupante en el caso de los alimentos envasados en plástico y comercializados específicamente para lactantes y niños.

Otras fuentes de exposición a las sustancias químicas plásticas son el polvo doméstico²¹, los envases de productos de cuidado personal, la ropa, los muebles y las alfombras, los equipos electrónicos, como teléfonos móviles y ordenadores, los materiales de construcción y los tubos, fluidos y dispositivos médicos²³.

Efectos de las sustancias químicas del plástico sobre la salud

Los productos químicos plásticos presentan grandes riesgos para la salud debido a sus grandes volúmenes de producción, amplio uso y potencial de exposición humana. En una reciente revisión general de la investigación epidemiológica humana sintetizada sobre las repercusiones de las sustancias químicas plásticas en la salud se examinaron casi 1000 metaanálisis de 52 revisiones sistemáticas, que representaban datos del equivalente a casi 1-5 millones de participantes⁽⁷²⁾. Se disponía de datos relevantes para cinco clases de sustancias químicas: PFAS, éteres difenólicos polibromados (PBDE), bifenilos policlorados, ésteres de ortoftalato y bisfenoles. Aunque los bifenilos policlorados ya están regulados en muchas jurisdicciones, las respuestas mundiales a los

los ésteres de ortoftalato y los bisfenoles han sido incoherentes, y estas clases químicas se siguen utilizando ampliamente.

Esta revisión general encontró pruebas consistentes de múltiples efectos sobre la salud en todas las etapas de la vida humana para muchos productos químicos plásticos. Los lactantes en el útero y los niños pequeños corren un riesgo especial⁹⁷. Estos efectos incluyen alteraciones del potencial reproductivo (p. ej., síndrome de ovario poliquístico y endometriosis), efectos perinatales (p. ej., aborto espontáneo, reducción del peso al nacer y malformaciones de los órganos genitales), disminución de la función cognitiva (p. ej., pérdida del coeficiente intelectual), resistencia a la insulina, hipertensión y obesidad en niños, y diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, obesidad y cáncer en adultos⁽⁷²⁾.

Falta de información sobre las sustancias químicas del plástico

A pesar de sus grandes volúmenes de producción y de la exposición humana generalizada, no se dispone públicamente de datos sobre los peligros de más de dos tercios de las sustancias químicas plásticas conocidas. En los casos en los que se dispone de datos sobre peligrosidad, estos suelen ser incompletos.² Un reciente mapa de pruebas sistemático descubrió que aproximadamente el 75% de las sustancias químicas plásticas examinadas no han sido evaluadas en estudios sobre salud humana.⁹⁸

De las sustancias químicas de los plásticos de las que se dispone de datos, aproximadamente el 75% (más de 4.200 sustancias) son altamente peligrosas debido a sus efectos tóxicos, persistencia, bioacumulación y movilidad⁽²⁾. Casi 1.500 de estas sustancias químicas son carcinógenas, mutágenas o tóxicas para la reproducción, y más de 1.700 son tóxicas para órganos específicos, como el hígado. 47 de estas sustancias químicas son alteradores endocrinos reconocidos en la UE y se ha demostrado que más de 1800 se liberan de los plásticos y tienen un alto potencial de exposición humana⁽²⁾. Mientras tanto, más allá de estas sustancias químicas de peligro conocido, se dispone de poca o ninguna información sobre la composición química, los efectos tóxicos o el peligro potencial de la mayoría de los productos plásticos a los que están expuestas las personas, incluidas las sustancias químicas que se encuentran habitualmente en la vida cotidiana⁽⁹⁹⁾.

La falta de transparencia sobre qué sustancias químicas están presentes en los plásticos, sobre los usos y aplicaciones de las sustancias químicas plásticas, sobre sus volúmenes de producción y sobre sus efectos tóxicos limita nuestra comprensión de toda la gama de daños potenciales de las sustancias químicas plásticas para la salud humana y planetaria.

Estas lagunas en los conocimientos reflejan las limitaciones de la legislación actual⁽¹⁰⁰⁾. Según la legislación vigente, la industria no está obligada a apoyar la realización de ensayos independientes de toxicidad de las nuevas sustancias químicas plásticas, a llevar a cabo una vigilancia de las sustancias químicas tras su comercialización ni a poner a disposición del público los datos de los ensayos. A pesar de su potencial de exposición humana a gran escala y de sus efectos nocivos para la salud, las sustancias químicas plásticas están sujetas a un escrutinio mucho menor que las sustancias químicas destinadas a ser utilizadas como productos farmacéuticos⁽⁹⁷⁾.

A falta de datos transparentes y disponibles públicamente, el análisis de productos y la biovigilancia humana suelen ser las únicas herramientas disponibles para identificar las sustancias químicas presentes en los productos de plástico y evaluar su contribución a la exposición humana y las enfermedades^(18,77-80,101).

^{18,77-80,101} Uno de los problemas de confiar en estos indicadores indirectos es que las agencias gubernamentales, el mundo académico y la sociedad civil deben llevar a cabo la compleja tarea de identificar, caracterizar y evaluar los riesgos para la salud de las sustancias químicas de los plásticos, que requiere muchos recursos, y normalmente sólo pueden hacerlo cuando las sustancias químicas ya se han comercializado. Dado el enorme número de productos químicos plásticos que se comercializan, la amplia gama de formulaciones y el limitado número de productos químicos que se han evaluado y clasificado oficialmente como peligrosos, la recopilación de esta información es un reto formidable.

Dadas las considerables lagunas en el conocimiento de las sustancias químicas de los plásticos, es razonable concluir que se subestima el alcance total de los daños de estas sustancias químicas para la salud y que la carga de morbilidad que se les atribuye actualmente está infravalorada. Dado el enfoque actual de la evaluación de los plásticos después de su comercialización, y los continuos ejemplos de sustitución lamentable,⁽⁹⁸⁾ podría haber sustancias químicas plásticas actualmente en uso generalizado con daños continuos para la salud humana que aún no se han descubierto.⁹⁷

Costes económicos de las sustancias químicas del plástico

Las enfermedades, discapacidades y muertes prematuras derivadas de la exposición a sustancias químicas plásticas pueden provocar grandes pérdidas económicas, que incluyen los costes de la atención sanitaria y las pérdidas de productividad. En el informe de la Comisión Minderero-Monaco de 2023, Cropper y sus colegas calcularon la magnitud de estos costes relacionados con la salud para el PBDE (retardante de llama), el bisfenol (BPA; monómero) y el di(2-etilhexil)ftalato (DEHP; plastificante) en un país, EE.UU.¹⁹ Su análisis concluyó que los costes anuales relacionados con la salud atribuibles a estas tres sustancias químicas ascienden a 75.000 millones de dólares (medidos en dólares de 2015 ajustados a la paridad del poder adquisitivo).

Cropper y sus colegas han actualizado recientemente sus estimaciones⁽¹⁹⁾ y han examinado los mismos tres productos químicos plásticos -BBDE, BPA y DEHP-, pero con una cobertura geográfica mucho más amplia, abarcando 38 países que cubren un tercio de la población mundial. Vinculando las exposiciones a los datos epidemiológicos, y asumiendo que los vínculos notificados son causales, Cropper y sus colegas estimaron que en 2015, el BPA se asoció con 5-4 millones de casos de cardiopatía isquémica y 34G 000 casos de ictus, lo que provocó 237 000 muertes por cardiopatía isquémica y 194 000 muertes por ictus. El DEHP se asoció a 1G4 000 muertes entre las personas de 55 a 4 años. La exposición prenatal a PBDE provocó la pérdida de 11-7 millones de puntos de CI entre los niños nacidos en 2015. El coste económico estimado de estos resultados fue de entre 1 y 5 billones de dólares (medidos en dólares estadounidenses de 2015 ajustados a la paridad del poder adquisitivo).¹⁹

Otro estudio sobre las mismas clases químicas estimó que los costes asociados a las enfermedades equivalían al 1-22% del producto interior bruto de EE.UU. en 2018.⁽¹⁰²⁾ En ese análisis, los costes sanitarios de la exposición a PFAS en EE.UU. en 2018 se estimaron en 22.000 millones de dólares.¹⁰²

Partículas microplásticas y nanoplásticas

Las nanopartículas plásticas pueden generarse intencionadamente o formarse a partir de la descomposición de productos plásticos. Si bien los usos intencionales de MNP fabricados (por ejemplo, cosméticos) se están reduciendo en muchas jurisdicciones,^{100,103,104} la liberación de volúmenes crecientes de desechos plásticos en el medio ambiente ha dado como resultado la acumulación ambiental de MNP y el aumento de las concentraciones de MNP en múltiples medios ambientales.¹⁰⁵

Varios sectores industriales contribuyen a las emisiones de MNP. En la UE, se calcula que los neumáticos, los textiles, las pinturas, los gránulos de plástico, las cápsulas de detergente y los textiles contribuyen hasta en un 90-93% a las emisiones de MNP,¹⁰⁶ con una tendencia general al alza del 7-9% entre 201G y 2022.⁽¹⁰⁷⁾ Además, el reciclado mecánico libera cantidades considerables de MNP al medio ambiente.¹⁰⁸ Al igual que los productos plásticos de los que proceden, los MNP están formados por una matriz polimérica más miles de sustancias químicas incrustadas y adsorbidas, así como materiales biológicos adsorbidos y bacterias.¹⁰⁹

Debido a su persistencia y a su transporte transfronterizo⁽¹¹⁰⁻¹¹²⁾ se han encontrado PNM en los lugares más remotos del planeta, desde el Ártico¹¹³ hasta las profundidades marinas,¹¹⁴ a grandes altitudes⁽¹¹⁵⁾ y en el suelo y las aguas subterráneas⁽¹¹⁶⁾. Se han detectado PNM en carnes, pescados, mariscos, frutas y verduras, agua potable y alimentos procesados.¹¹⁷⁻¹²² Los materiales en contacto con alimentos son una fuente adicional de PNM y están verosimilmente relacionados con la exposición humana.¹²³⁻¹³⁰

Los MNP transportados por el aire también son omnipresentes. Las fuentes exteriores incluyen la precipitación atmosférica,^{131,132} el rocío oceánico costero,¹³³ las carreteras modificadas con plástico, el desgaste de los neumáticos en las carreteras, los materiales de pavimentación⁽¹³⁴⁾ y las plantas de reciclaje mecánico.⁽¹⁰⁸⁾ Se han detectado PNM en interiores en aulas y hogares.^{135,136} La exposición ocupacional a los PNM en el aire ocurre en múltiples instancias, incluyendo el moldeado de plásticos, el reciclaje y la fabricación de textiles sintéticos (p. ej., flocado de nailon).¹³⁷

Efectos de los PNM sobre la salud humana

En los últimos 2-3 años, se han notificado cada vez más PNM en tejidos y fluidos corporales humanos en la población general¹³⁸, incluyendo sangre, leche materna, hígado, riñón, colon, placenta, pulmón, bazo, cerebro, corazón, grandes vasos, meconio y heces.⁽²⁰⁾ Estos hallazgos sugieren que los PNM podrían ser capaces de atravesar barreras biológicas clave, incluyendo el revestimiento gastrointestinal, la interfaz alveolo-endotelial, la barrera hematoencefálica y la placenta. Estos hallazgos requieren una mayor validación, ya que la medición de los nanopartículas nanopartículas en muestras biológicas de tamaños inferiores a 1-10 µm -los que con mayor probabilidad atraviesan las barreras biológicas y penetran en órganos y tejidos- sigue siendo un reto, al igual que la exclusión de una posible contaminación.⁽¹³⁹⁾

Los posibles mecanismos de toxicidad de los nanopartículas plásticas incluyen la alteración de la estructura y la función de las células y los tejidos debido a la presencia física de nanopartículas plásticas, las propiedades tóxicas de la matriz polimérica, las propiedades tóxicas de las sustancias químicas plásticas liberadas y el transporte de sustancias químicas ambientales y patógenos a las células a través de las nanopartículas plásticas.⁽²³⁾

²³Para comprender y cuantificar el riesgo para la salud humana en relación con estos efectos celulares será necesario seguir investigando las vías de exposición, la farmacocinética y las posibles exposiciones internas, así como la investigación animal, clínica y epidemiológica para evaluar las relaciones dosis-respuesta.

Estas investigaciones se encuentran en sus primeras fases. Una reciente revisión sistemática que investiga los efectos digestivos, respiratorios y reproductivos de los nanomateriales policlorados informa de pruebas de calidad alta o moderada de su impacto en múltiples resultados, principalmente a partir de estudios en animales, con vínculos sugeridos con el cáncer de pulmón y de colon.¹⁴⁰ La investigación clínica y epidemiológica en humanos dependerá de nuevos avances en los métodos para detectar y cuantificar la exposición,¹³⁹ pero ya se han publicado los primeros estudios con técnicas emergentes. Estos estudios incluyen informes de posibles vínculos entre los MNP y las enfermedades pulmonares,¹³⁷ la enfermedad inflamatoria intestinal,¹⁴¹ la cirrosis hepática,¹⁴² el infarto de miocardio y el ictus.¹⁴³

Aunque se necesita urgentemente un mayor desarrollo de métodos analíticos en apoyo de la investigación clínica y epidemiológica para evaluar con mayor confianza los riesgos para la salud¹³⁹, no se puede ignorar la posibilidad de que los nanomateriales modificados genéticamente puedan dañar la salud humana. Dada la actual exposición generalizada de los seres humanos a los nanomateriales policlorados y la concatenación de hallazgos a través de la investigación mecanística in vitro, los estudios en animales y los primeros estudios observacionales en humanos, es esencial adoptar un enfoque preventivo.^{139,144,145}

Residuos plásticos

La generación mundial acumulada de residuos plásticos entre 1950 y 2020 se estima en 8 Gt.⁵⁴ La generación de residuos plásticos en sigue de cerca la producción mundial de plástico (figura 1), y la mitad de todos los residuos plásticos se han generado desde 2011.

A nivel mundial, menos del 10% del plástico se recicla en productos reutilizables, una fracción muy inferior a las proporciones de papel, vidrio, acero y aluminio que se reciclan y reutilizan.^(23,25) Dos impedimentos principales para el reciclaje del plástico y para la creación de una economía circular limpia y segura son la

complejidad química de los plásticos y su contenido en sustancias químicas tóxicas, incluidas las sustancias químicas heredadas.^{37,146}

Existen claras disparidades regionales y diferencias por países en las estrategias y capacidades de gestión de los residuos plásticos, lo que refleja las diferencias socioeconómicas.⁽⁵⁵⁾ La fracción de residuos plásticos que se estima que se gestiona mal es baja en China (1-5%), Norteamérica (2-7%) y Europa (3-6%), pero se informa de que es mucho más alta -un 43-0% estimado- en el resto del mundo, como se muestra en el Global Plastics Hub. Como reflejo de estas diferencias, la liberación de residuos plásticos al medio ambiente muestra fuertes contrastes entre países y también dentro de un mismo país (figura 3).

Residuos plásticos y contaminación atmosférica

Se calcula que el 57% (IC del 95%: 48-3-5G-3 Mt) de los residuos plásticos se quema a cielo abierto, mientras que el 43% se deposita en vertederos o se vierte en el medio ambiente.⁽¹⁴⁷⁾ La quema a cielo abierto de residuos plásticos suele carecer de controles de contaminación y emisiones y es responsable de la liberación a la atmósfera de aproximadamente 52-1 Mt (IC del 95%: 48-3-5G-3 Mt) de contaminantes al año. Estos contaminantes atmosféricos son una fuente importante de contaminación atmosférica en los países de ingresos bajos y medios.^(40,148) La contaminación atmosférica liberada por la quema abierta de residuos plásticos contiene múltiples sustancias químicas peligrosas, entre las que se incluyen metales pesados, monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno y estireno, así como contaminantes orgánicos persistentes y partículas microplásticas no quemadas.¹⁴⁹ La combustión de plásticos que contienen cloro, especialmente el PVC, es especialmente peligrosa porque, a menos que las temperaturas de combustión se mantengan por encima de 900⁽⁶⁰⁾ °C, una condición que rara vez se alcanza en la quema abierta, puede dar lugar a la generación y liberación de dioxinas policloradas y furanos altamente tóxicos.¹⁴⁷

Impactos en la salud de los recicladores

Los trabajadores informales del sector de los residuos contribuyen considerablemente a los servicios de gestión de residuos en países de todos los niveles de renta, y especialmente en países de renta baja y media-baja, donde asumen múltiples funciones que van desde la recogida domiciliaria, pasando por la recogida de residuos en vertederos, hasta la trituración y peletización de plásticos para su reciclaje. Residuos

Para el Global Plastics Hub, véase <https://globalplasticshub.org/>

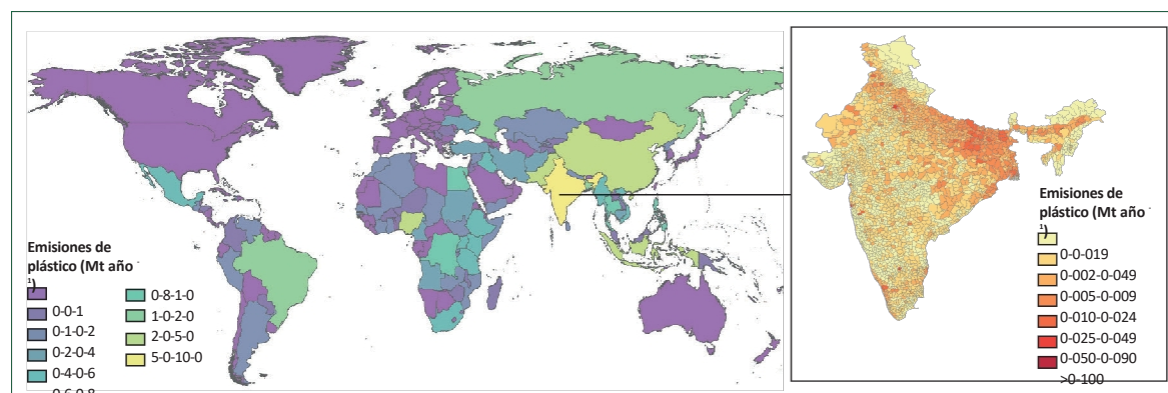


Figura 3: Generación de residuos macroplásticos por país y por municipio para la India, 2020. Adaptado de Cottom y colegas.⁵⁴ Mt= megatoneladas.

Los trabajadores son un grupo muy susceptible que suele carecer de equipos de protección, atención sanitaria y poder de negociación, y están estigmatizados por la sociedad.

Los recicladores suelen vivir y trabajar en condiciones precarias y peligrosas. Recogen y procesan residuos en vertederos que se incendian con regularidad.⁽¹⁵⁰⁾ Los recicladores y sus hijos pueden vivir en asentamientos informales adyacentes a estos vertederos y están expuestos a peligros derivados del manejo de maquinaria pesada, la exposición a residuos ardientes y la clasificación de residuos plásticos que pueden estar contaminados por múltiples sustancias químicas tóxicas, como pesticidas, productos farmacéuticos y sustancias químicas industriales.^(151,152) Los efectos sobre la salud asociados a la recogida informal de residuos incluyen lesiones traumáticas, quemaduras, enfermedades respiratorias, abortos espontáneos y cáncer.⁽²³⁾ Los trabajadores del sector formal de los residuos también están expuestos a riesgos laborales, pero tienen menos susceptibilidades agravadas.

Los recolectores de residuos electrónicos están muy expuestos a contaminantes relacionados con el plástico. Una práctica especialmente peligrosa es la quema al aire libre de cables de ordenador recubiertos de PVC para recuperar el cobre, que libera humo negro con dioxinas, benceno y PM_{2.5} en suspensión.⁽¹⁵³⁾

Residuos plásticos y enfermedades transmitidas por vectores

Los residuos plásticos contribuyen a la propagación y ampliación mundial de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, como el dengue, el zika y la chikungunya.^(154,155) Los mosquitos *Aedes*, que transmiten muchas de estas enfermedades, proliferan en entornos urbanos, y datos recientes indican que se han adaptado para favorecer la puesta de sus huevos en recipientes artificiales, como botellas de plástico desechadas, envases, neumáticos y bolsas.⁽¹⁵⁶⁻¹⁵⁸⁾ La urbanización no planificada y la gestión limitada de los residuos en el contexto del cambio climático global podrían haber contribuido al fuerte repunte del dengue observado en las últimas décadas.

Residuos plásticos y resistencia a los antimicrobianos

Datos recientes muestran que los residuos plásticos y los MNP en el medio ambiente crean hábitats únicos que favorecen el crecimiento de diversos microorganismos y las interacciones entre ellos. Las comunidades microbianas que colonizan los plásticos se conocen como plastisfera. Dentro de este hábitat único, se ha demostrado que al menos tres mecanismos clave impulsan la propagación y la evolución de la resistencia a los antimicrobianos en el medio ambiente, en particular en los medios acuático y edáfico.^(159,160) En primer lugar, la formación de biopelículas en las nanopartículas pone a diferentes bacterias en estrecha yuxtaposición y promueve la formación de biopelículas quorum-sensing systems que facilitan la comunicación entre células y la transferencia horizontal de genes, incluida la transferencia de genes de resistencia a los antibióticos.⁽¹⁵⁹⁻¹⁶²⁾ En segundo lugar, las nanopartículas tienen una capacidad de adsorción considerablemente mayor que los residuos naturales, debido a su gran superficie en relación con su volumen. De este modo, los nanopartículas marinas acumulan sustancias químicas del medio ambiente que podrían contribuir a la selección o coselección de la resistencia antimicrobiana, incluyendo antibióticos, pesticidas, biocidas, metales pesados y otros xenobióticos

vectores físicos, facilitando el movimiento y el transporte de bacterias resistentes a los antibióticos y de genes resistentes a los antibióticos a través de largas distancias en entornos acuáticos y hacia zonas remotas, previamente no contaminadas.^(160,163,164)

Todos estos factores aumentan los riesgos para la salud humana y animal y para la seguridad alimentaria, ya que las bacterias resistentes a patógenos se propagan a plantas, animales y seres humanos a través del medio ambiente. Entre los ejemplos de bacterias patógenas resistentes identificadas en aguas contaminadas por plásticos se encuentran *Escherichia coli*, *Aeromonas* sp, *Shigella* sp, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas* sp y *Bacillus*.⁽¹⁶⁴⁾ La proliferación de genes de resistencia a los antimicrobianos en bacterias patógenas y no patógenas en los MNP dificulta los esfuerzos de la sociedad por detener la pandemia mundial de resistencia a los antimicrobianos.

Residuos plásticos y ecosistemas

Durante décadas se han detectado en todo el mundo restos visibles de plástico y MNPS derivados de residuos en aguas oceánicas.^(20,165) Cada vez más estudios informan ahora de la presencia de MNPs en entornos marinos y en la biota marina de muchas partes del mundo, así como en lagos de agua dulce y en la biota.^(166,167) Los MNPs se encuentran en el hielo marino ártico⁽¹¹³⁾ y en la Antártida.⁽¹⁶⁸⁾ Aunque las cantidades de residuos plásticos que entran anualmente en el océano y su distribución en la columna de agua son difíciles de establecer a escala global,⁽¹⁶⁹⁾ se estima que en 2020 entraron en los océanos 11 Mt de plástico⁽³⁵⁾ con un total acumulado de 139 Mt en medios acuáticos.⁽²⁴⁾

En los ecosistemas acuáticos, los PNM afectan considerablemente a la salud de animales y plantas. Los PNM alteran el comportamiento y la fisiología de los animales, merman su capacidad natatoria y los hacen más vulnerables a los depredadores.⁽¹⁷⁰⁾ Los PNM causan lesiones y la muerte de importantes especies vegetales, como manglares, pastos marinos y marismas.⁽¹⁷¹⁾ Estas plantas son cruciales para la salud de los ecosistemas, ya que proporcionan hábitat y alimento a diversos organismos, estabilizan las costas y contribuyen al ciclo de los nutrientes y a la absorción de CO₂. Se ha demostrado que los PNM reducen la fotosíntesis en plantas terrestres y acuáticas, amenazando así la seguridad alimentaria y dificultando el secuestro de CO₂.⁽¹⁷²⁾ Además, los PNM causan estrés oxidativo en las plantas, alterando los procesos fisiológicos, metabólicos y reproductivos, incluida la germinación de semillas y la absorción y translocación de nutrientes, afectando al crecimiento y la proliferación de las plantas.⁽¹⁷³⁾

En los ecosistemas terrestres, los residuos plásticos desechados de forma inadecuada contaminan el suelo, dañando su microbioma, reduciendo la salud y la fertilidad del suelo y afectando a funciones esenciales del ecosistema, como el ciclo de los nutrientes y la filtración del agua.⁽¹⁷⁴⁻¹⁷⁶⁾ Al igual que los mamíferos marinos, la fauna silvestre y el ganado pueden verse perjudicados por los residuos plásticos. Además, los residuos plásticos que llegan a los cursos de agua pueden obstruir los sistemas de drenaje y aumentar el riesgo de inundaciones.

La degradación medioambiental causada por los plásticos altera las redes alimentarias, el ciclo de los nutrientes y ecosistemas enteros.^(171,177) lo que conduce a una disminución de la biodiversidad. Todos estos efectos contravienen el Marco Mundial para la Biodiversidad de Kunming-Montreal, que establece claramente el

principio de reducir la contaminación por plásticos para preservar la biodiversidad costera y marina.¹⁷⁸

Al degradar los ecosistemas, los residuos plásticos y los PMN dañan la salud humana, ya que interrumpen los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, apoyo, regulación y culturales, cruciales para la salud, el bienestar y la sostenibilidad de las sociedades humanas.^{179,180} Estos servicios incluyen el suministro de pescado y marisco, cultivos, agua dulce para beber y regar, y materias primas, como algas marinas, madera y sal, al tiempo que apoyan el ciclo de nutrientes y regulan la calidad del agua y del aire.

La contaminación por plásticos en los entornos naturales reduce las oportunidades recreativas, disminuye el valor estético y económico y degrada bellos lugares de importancia espiritual y cultural. Todos estos daños recaen sobre todo en las poblaciones pobres y de riesgo y en los pequeños Estados insulares en desarrollo, comunidades que ya sufren de forma grave y desproporcionada los efectos del cambio climático.

Además de afectar a los servicios ecosistémicos, los PNM y los productos químicos plásticos acumulados por las cascadas tróficas pueden exponer directamente a los seres humanos al vectorizar partículas de plástico y productos químicos plásticos.⁽¹⁸¹⁾ Por ejemplo, la ingestión de residuos plásticos puede provocar la obstrucción intestinal del ganado, causando graves problemas de salud e incluso la muerte. El ganado también está expuesto a los MNP y a las sustancias químicas del plástico, con posibles efectos sobre la salud humana a través del consumo de carne, huevos y productos lácteos.¹⁸² Además, los residuos plásticos en vertederos informales y formales pueden crear ecosistemas distintos que atraen a animales carroñeros, como ratas y gaviotas¹⁸³, que pueden servir de reservorios o huéspedes de patógenos zoonóticos. Estos cambios en el hábitat pueden tener efectos ecológicos en cascada, alterando aún más el equilibrio de los ecosistemas naturales y afectando potencialmente a la salud humana y animal.

Residuos plásticos y cambio climático

Nuevos datos indican que las interacciones entre el cambio climático y los plásticos van más allá de las emisiones de GEI. Por ejemplo, los plásticos se deterioran más rápidamente a temperaturas ambiente más elevadas, lo que acelera la liberación al medio ambiente de PNM, sustancias químicas plásticas y GEI a medida que el planeta se calienta.⁽¹⁸⁴⁾ Los PNM también se adhieren a la nieve marina, aumentando su flotabilidad y ralentizando así el desplazamiento del carbono desde la superficie del océano hasta sus profundidades. Los PNM presentes en la nieve y el hielo glaciares pueden disminuir el albedo, acelerando el deshielo de los hielos polares y montañosos.

Los cambios asociados al clima en los patrones hidrológicos y oceanográficos pueden alterar la distribución geográfica y la exposición de la población a los residuos plásticos. Por ejemplo, se calcula que los vertidos de MNP en la bahía de Bengala desde el río Ganges oscilan entre 1.000 y 3.000 millones de partículas al día, con un mayor número de partículas liberadas durante el monzón (estación húmeda) en comparación con la época premonzónica, debido al aumento del caudal y al mayor volumen de agua en el monzón.¹⁸⁵ Las corrientes oceánicas transportan plásticos a grandes distancias y provocan la acumulación masiva de residuos macroplásticos y microplásticos (por ejemplo, parches de basura o giros) en el Atlántico Sur y Norte, el Pacífico y el Índico.¹⁸⁶

Los incendios forestales, cada vez más frecuentes e intensos debido al cambio climático, se vuelven mucho más peligrosos cuando se propagan a zonas urbanas y periurbanas, como se ha visto recientemente en Los Ángeles, debido a la alta inflamabilidad de los productos plásticos de construcción y aislamiento. Cuando se queman, estos materiales liberan partículas tóxicas y sustancias químicas a la atmósfera, el agua y el suelo, exponiendo a los residentes, al personal de rescate y a quienes participan en las tareas de limpieza y reconstrucción.⁽¹⁸⁷⁾

Intervenciones políticas para mitigar los daños asociados al plástico

Múltiples análisis, incluidos los de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE),⁴² Pew,¹⁸⁸ y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,¹⁸⁹ concluyen que unas políticas integrales y de varios niveles que aborden todo el ciclo de vida del plástico, incluidas sus fases previas de producción, serían las más eficaces para controlar la contaminación por plásticos y proteger la salud humana. Según la OCDE, las intervenciones de varios niveles también son más rentables que las que se centran exclusivamente en las fases posteriores o en el medio ambiente.⁽⁴²⁾

Sin embargo, hasta la fecha, la mayoría de las respuestas a la crisis del plástico se han centrado en las fases posteriores del ciclo de vida del plástico y en cuestiones medioambientales. Una encuesta realizada por el Diálogo sobre la Contaminación por Plásticos de la Organización Mundial del Comercio (OMC) reveló que la inmensa mayoría de las 223 intervenciones comunicadas por los Estados miembros de la OMC se centraban en las fases posteriores del ciclo de vida del plástico y estaban dirigidas a los plásticos de un solo uso, la gestión de residuos y el reciclaje.⁽¹⁹⁰⁾

Se han realizado pocas evaluaciones para establecer cuáles de las intervenciones para hacer frente a la contaminación por plásticos realizadas hasta la fecha son eficaces, por qué funcionan y en qué medida podrían adaptarse y desplegarse para su uso en otros entornos.^{191,192} En su mayor parte, estas evaluaciones se han centrado únicamente en algunas intervenciones específicas, como las prohibiciones o los impuestos sobre las bolsas de plástico, y han empleado medidas analíticas limitadas que no tienen en cuenta las interacciones sistémicas. Además, estos estudios no muestran si tales políticas reducen los riesgos para la salud humana o planetaria asociados a los plásticos.

Lanzamiento de la cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos

Coincidiendo con la finalización prevista del Tratado Mundial sobre los Plásticos, estamos poniendo en marcha un sistema de seguimiento mundial de los plásticos centrado en la salud y basado en indicadores: la Cuenta atrás de *The Lancet* sobre la salud y los plásticos. El objetivo de esta Cuenta Atrás es proporcionar un sistema de vigilancia mundial creíble e independiente que permita seguir los avances hacia la reducción de la exposición a los plásticos y la mitigación de los daños asociados a los plásticos para la salud humana y planetaria.

Orígenes de la cuenta atrás

Un consorcio en el que participan el Boston College, la Universidad de Heidelberg, el Centre Scientifique de Monaco y el

La Fundación Minderoo se reunió en 2024 e inició conversaciones con los editores de *The Lancet*. Una serie de reuniones exploratorias en línea culminó en una reunión presencial de dos días en Mónaco en octubre de 2024. A esta reunión asistieron 23 expertos de diferentes regiones y representantes de múltiples disciplinas, así como los editores de *The Lancet*. El resultado de la reunión fue la decisión de lanzar la Cuenta atrás de Lancet sobre salud y plásticos, que se basa en el trabajo de la Comisión Minderoo-Mónaco sobre plásticos y salud humana y lo lleva adelante²³.

La Cuenta Atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos se guiará por el enfoque de la Cuenta Atrás de *The Lancet* sobre salud y cambio climático. Con sus publicaciones en la última década, la Cuenta Atrás sobre Salud y Cambio Climático ha desempeñado un papel crucial en la incorporación de la consideración de los impactos del cambio climático sobre la salud a la corriente principal de la conversación sobre el clima.⁽⁷¹⁾ La Cuenta Atrás ha desempeñado un papel clave en la decisión de incorporar un enfoque explícito sobre la salud humana en las negociaciones anuales sobre el clima, a partir de la 28ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.¹⁹³

Selección de indicadores

En la primera reunión de expertos (octubre de 2024), los participantes elaboraron en colaboración un marco preliminar para la selección de indicadores. Tras una deliberación estructurada y una votación por consenso, se identificaron cuatro ámbitos principales de indicadores (figura 4). Los tres primeros son: producción y emisiones, exposición e impacto en la salud. Estos ámbitos siguen un modelo clásico de fuente-exposición-efectos y proporcionan un marco para el seguimiento de los impactos de los plásticos en la salud humana a lo largo de cada etapa del ciclo de vida del plástico. El cuarto ámbito, intervenciones y compromiso, hará un seguimiento de las respuestas sociales a la crisis de los plásticos y abarcará tanto las intervenciones políticas de arriba abajo como las respuestas públicas de abajo arriba, desde el nivel internacional al individual. En función de la disponibilidad y viabilidad de los datos, se desarrollarán indicadores seleccionados en estos cuatro ámbitos a medida que evolucione la Cuenta Atrás.

Producción y emisiones

Este ámbito desarrollará indicadores que controlen la producción de polímeros por tipo de polímero y, cuando sea posible, por país. También desarrollará indicadores para controlar la producción de productos químicos plásticos. Además, se hará un seguimiento del volumen de residuos plásticos generados por país. Asimismo, se hará un seguimiento de las partículas y los contaminantes atmosféricos peligrosos y de los contaminantes liberados en el agua y el suelo en todas las fases del ciclo de vida del plástico, incluidas la producción, la fabricación, el reciclado, el vertido, la incineración y la quema al aire libre. Por último, se hará un seguimiento de las emisiones de GEI asociadas al plástico por países.

Exposiciones

Exposures desarrollará y hará un seguimiento de indicadores que controlen las concentraciones medioambientales y biológicas de plásticos, sustancias químicas plásticas, productos de desecho y contaminantes relacionados con los plásticos, y PNM. Los indicadores ecológicos controlados en este ámbito podrían incluir los niveles de PNM en el agua de mar, el agua dulce, los glaciares y el hielo marino¹¹³ Otros posibles objetivos ecológicos son los niveles de PNM en el suelo, los cultivos alimentarios, el ganado, los peces de agua dulce y los peces de agua salada. Los indicadores de exposición humana en este ámbito podrían incluir los niveles de productos químicos plásticos y PNM en envases de alimentos, artículos de higiene personal, artículos domésticos, materiales de construcción y otros productos de consumo, así como en el medio ambiente (por ejemplo, aire, alimentos y agua potable). Además, este ámbito podría realizar un seguimiento de la exposición humana interna a las sustancias químicas plásticas utilizando datos sobre los niveles de sustancias químicas plásticas en sangre y orina obtenidos a partir de estudios epidemiológicos y encuestas nacionales de biovigilancia.⁽¹⁸⁾ Para realizar un seguimiento de la exposición humana interna a los MNP, se espera que los indicadores potenciales sean estructurales y que realicen un seguimiento de los avances metodológicos hacia la caracterización y cuantificación de la exposición humana interna.

Efectos sobre la salud

Los impactos sobre la salud harán un seguimiento de los efectos sobre la salud humana que están o pueden estar influidos por los plásticos a lo largo de todo su ciclo de vida. Estos efectos sobre la salud

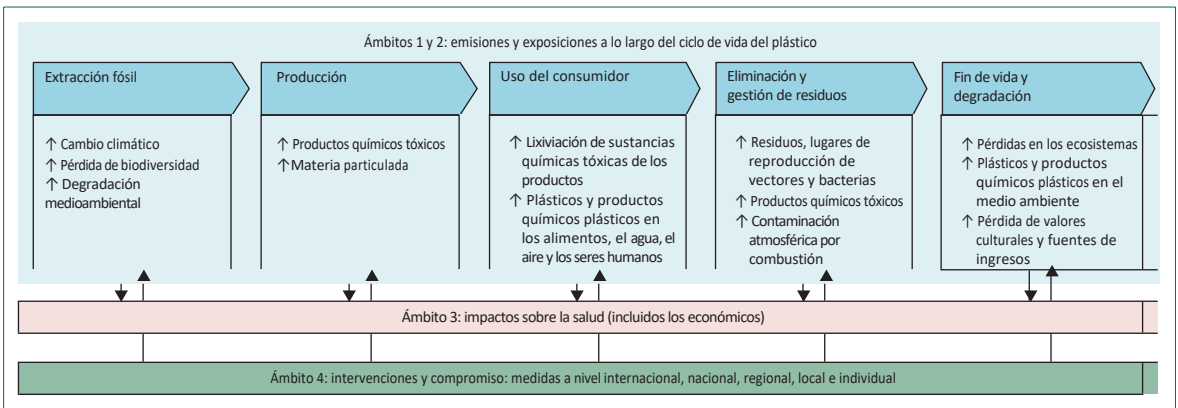


Figura 4: Ámbitos conceptuales de la Cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos

podrían incluir aquellos que están (o potencialmente están) influidos por los productos químicos plásticos, las nanopartículas plásticas, los contaminantes relacionados con el plástico y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el plástico en poblaciones generales, trabajadores, residentes de comunidades cercanas a las costas, recicladores y otras poblaciones de riesgo. Entre las consecuencias para la salud de las que se hará un seguimiento se incluyen los mortinatos, el bajo peso al nacer y las malformaciones de los órganos reproductores en los bebés; el asma, la obesidad, la diabetes de tipo 2 y los cánceres en los niños; y las enfermedades cardiovasculares, la obesidad, las anomalías lipídicas, la diabetes, las enfermedades pulmonares, la disminución de la fertilidad y la fecundidad, y varios tipos de cáncer en los adultos. Este ámbito hará un seguimiento de las repercusiones económicas de los plásticos en la salud. Además, se hará un seguimiento de los efectos sobre la salud humana que podrían tener los plásticos sobre los ecosistemas planetarios (por ejemplo, como impulsores del cambio climático), como vectores de propagación de patógenos bacterianos nocivos y como lugares de reproducción de mosquitos portadores de enfermedades⁽¹⁹⁴⁾.

Intervenciones y compromiso

Este ámbito hará un seguimiento de las intervenciones a lo largo del ciclo de vida del plástico que tienen el potencial de reducir las exposiciones relacionadas con el plástico y reducir los daños para la salud humana y planetaria resultantes de esas exposiciones. También se hará un seguimiento de las actividades que permiten y apoyan estas intervenciones en .

Las intervenciones a seguir podrían incluir esfuerzos gubernamentales a todos los niveles para reducir la producción de plásticos, restringir el uso de plásticos de un solo uso, restringir el uso de sustancias químicas preocupantes en los plásticos, mejorar la gestión de los plásticos heredados, mejorar la protección de la salud ocupacional de los trabajadores del plástico, reducir las fugas de plásticos al medio ambiente, avanzar hacia alternativas y sustitutos potencialmente más seguros para los plásticos basados en combustibles fósiles, y reducir o eliminar las vías de exposición que dañan la salud humana. Los esfuerzos para reducir el uso de plásticos en el sector sanitario son de especial interés para esta Cuenta Atrás, por lo que se incluirán indicadores de seguimiento de dicha reducción en este ámbito.

Entre las medidas de apoyo que deben seguirse figuran las campañas de educación y divulgación, los mecanismos financieros, los esfuerzos para reforzar las cadenas de valor a medida que los países pasan a modelos de economía circular, y la recopilación y el seguimiento de datos. Entre los posibles indicadores se incluyen las repercusiones en los medios de comunicación, la financiación de la investigación, los resultados de la investigación y los datos de encuestas sobre la concienciación pública acerca de los plásticos y la salud.

Las intervenciones y los compromisos pueden ser iniciados, desarrollados o aplicados por agentes individuales o por combinaciones de agentes públicos y privados a diversas escalas: internacional, regional, nacional, subnacional y local. Los actores pueden incluir organizaciones intergubernamentales, gobiernos y autoridades nacionales y subnacionales, actores privados (por ejemplo, corporaciones, instituciones financieras y pequeñas y medianas empresas), organizaciones de la sociedad civil, colectivos de trabajadores formales o informales y sindicatos, instituciones académicas y de investigación, medios de comunicación, organizaciones comunitarias, fundaciones y particulares.

Desarrollo de indicadores

Al igual que en la Cuenta atrás del clima de *The Lancet*, los indicadores de cada ámbito se elegirán mediante un enfoque abierto, transparente, multidisciplinar y basado en la ciencia que incluya la revisión y síntesis de las pruebas existentes, la recopilación de datos primarios y secundarios y el análisis. La labor de desarrollar indicadores e informar sobre ellos correrá a cargo de grupos de trabajo dedicados a cada ámbito, cada uno de ellos dirigido por dos colíderes expertos en ese ámbito. Los colaboradores externos tendrán la oportunidad de contribuir a la Cuenta Atrás presentando libros blancos sobre los indicadores propuestos para su revisión. A la hora de seleccionar los indicadores se tendrá en cuenta si son significativos, comprensibles, interpretables y oportunos; científicamente creíbles, reproducibles, cuantificables y basados en métodos validados; factibles y actualizables, incluyendo datos disponibles o que puedan adquirirse; temporal y geográficamente representativos; y socialmente representativos, abarcando una serie de grupos sociales y permitiendo la evaluación de las desigualdades sanitarias y medioambientales. La selección de indicadores tendrá en cuenta el equilibrio entre los distintos ámbitos y su interrelación, incluida la capacidad de medir factores e impactos sistémicos. La Cuenta Atrás tratará de poner los indicadores a disposición del público a escala nacional.

Gobernanza y dirección operativa

La Cuenta Atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos estará dirigida por un comité directivo y orientada por un consejo asesor. El comité directivo incluye a los dos copresidentes de la Cuenta Atrás, responsables de su ejecución, y a los codirectores de cada grupo de trabajo. Los copresidentes y el comité directivo contarán con el apoyo de un gestor de proyecto especializado y un consultor independiente encargado de organizar las consultas con las partes interesadas y los grupos de discusión para garantizar que los indicadores seleccionados sean pertinentes, inclusivos y eficaces.

La Cuenta Atrás cuenta con la participación de expertos en múltiples disciplinas relacionadas con los plásticos y la salud, como la salud pública, la medicina, las ciencias medioambientales, la toxicología, la química, el derecho, la política y la economía. A medida que la iniciativa crezca, seguiremos asegurándonos de que su composición refleje una amplia gama de conocimientos y mantenga un firme compromiso con la diversidad, la equidad y la inclusión, con especial atención al equilibrio regional y de género.

Traslación de la ciencia a la política

La Cuenta atrás de *The Lancet* sobre la salud y los plásticos implicará activamente a los responsables políticos, los líderes de la industria, los investigadores académicos, las partes interesadas de la sociedad civil y el público en la difusión, comunicación y traducción de los resultados de sus investigaciones y su producción científica. Este enfoque colaborativo garantiza que los indicadores y las recomendaciones de la Cuenta Atrás sean sólidos desde el punto de vista científico, pertinentes y viables. Mediante el fomento del diálogo entre diversos actores y la comunicación de datos fiables, la

La Cuenta Atrás tratará de ampliar su alcance y catalizar intervenciones basadas en pruebas.

Las actividades de participación pueden incluir sesiones informativas sobre políticas, talleres con las partes interesadas y campañas específicas adaptadas a regiones y públicos concretos. Estos esfuerzos pretenden salvar la brecha entre la investigación y las aplicaciones en el mundo real, permitiendo una toma de decisiones informada e impulsando el cambio sistémico. En la figura 5 se representan las vías para lograr un impacto, destacando cómo la generación de conocimientos e indicadores puede crear información procesable para marcos políticos basados en pruebas y para la toma de decisiones.

Conclusión

El mundo está sumido en una crisis de plásticos. Esta crisis se ha agravado junto con otras amenazas planetarias de nuestro tiempo y está contribuyendo al cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad. La magnitud de la crisis de los plásticos, que durante mucho tiempo ha pasado desapercibida y no se ha abordado, está ahora ampliamente reconocida, y sus implicaciones para la salud humana y planetaria son cada vez más claras.

Se calcula que 8000 Mt de residuos plásticos contaminan el medio ambiente.²⁵ Los PNM y múltiples sustancias químicas del plástico se encuentran en los lugares más recónditos del planeta¹¹²⁻¹¹⁴ y en los cuerpos de especies marinas y terrestres de todo el mundo, incluidos los humanos.¹⁸ El análisis de 2023 realizado por

la Comisión Minderoo-Monaco sobre plásticos y salud concluyó que los plásticos dañan la salud humana en todas las etapas del ciclo de vida del plástico, que estos daños relacionados con la salud dan lugar a pérdidas económicas masivas que soporta la sociedad y que los daños asociados a los plásticos recaen de forma desproporcionada en las personas con bajos ingresos y en las poblaciones de riesgo (panel 2).²³

Tres factores son responsables del agravamiento de la crisis del plástico. El primero y más fundamental es que la producción mundial de plástico se está acelerando⁽⁵⁷⁾ Se prevé que el aumento actual de la producción continúe y, en ausencia de intervención, la producción mundial de plástico está en camino de casi triplicarse para 2050⁽²⁴⁾. La recuperación y el reciclaje inadecuados, junto con la falta de circularidad operativa, es un segundo factor. A pesar de décadas de esfuerzo, menos del 10% de los plásticos se reciclan y, por tanto, el 90% se quema, se deposita en vertederos o se acumula en el medio ambiente⁽⁶⁰⁾. A diferencia del papel, el vidrio, el acero y el aluminio, los plásticos químicamente complejos no pueden reciclarse fácilmente. Ahora está claro que el mundo no puede reciclar para salir de la crisis de la contaminación por plásticos. La persistencia de los plásticos es un tercer factor clave. La mayoría de los plásticos no se biodegradan en el medio ambiente ni se descomponen en sus elementos constitutivos, sino que se fragmentan en partículas cada vez más pequeñas (p. ej., MNP) que pueden

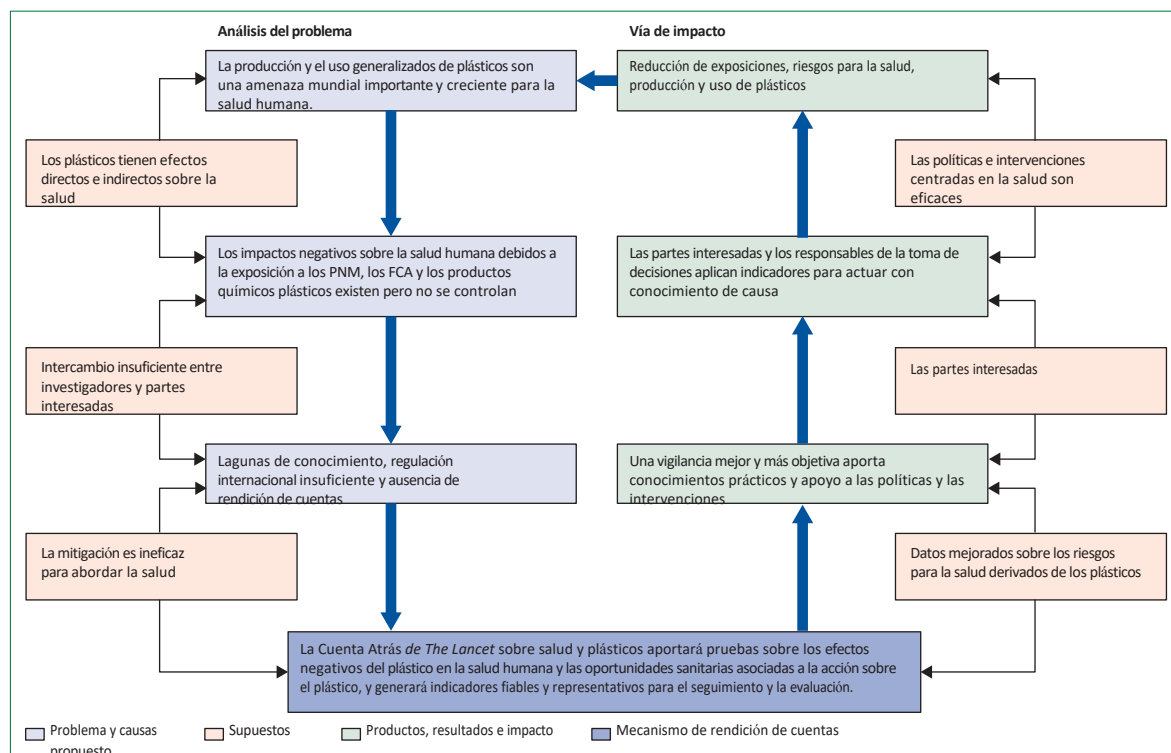


Figura 5: Representación esquemática de las vías de impacto de la Cuenta Atrás de The Lancet sobre la salud y los plásticos basada en la teoría del cambio

A la izquierda, el análisis del problema describe la creciente amenaza de la producción y contaminación por plásticos, destacando las lagunas en la vigilancia, la necesidad de reforzar la interfaz entre ciencia y política, la limitada responsabilidad de la industria y las insuficientes intervenciones reguladoras para la protección de la salud a lo largo del ciclo de vida del plástico. En el lado derecho, la vía de impacto prevé una serie de resultados que comienzan con la mejora de los datos sobre los riesgos para la salud derivados de los plásticos, lo que permitirá a las partes interesadas y a los responsables de la toma de decisiones aplicar indicadores centrados en la salud para impulsar acciones eficaces. Figura adaptada del Consejo Holandés de Investigación.²⁶ FCA=artículos en contacto con alimentos. MNP=partículas microplásticas y nanoplásticas.

persisten durante décadas en el agua dulce y salada, en la tierra y en los organismos vivos. Los polímeros, como el PVC y algunos productos químicos plásticos (por ejemplo, los PFAS) basados en enlaces carbono-halógeno, son especialmente duraderos. La consecuencia es que al menos el 80% en peso de todo el plástico fabricado hasta ahora sigue presente en el medio ambiente (figura 1). Para gran parte de este plástico, su repositorio final es el océano.¹⁸⁰

La crisis del plástico no es inevitable. Aunque todavía hay mucho que desconocemos sobre los daños del plástico para la salud humana y el medio ambiente mundial, y sin duda se necesita más investigación, ahora tenemos suficientes datos para saber que estos daños ya son considerables, y hay suficiente información sobre las tendencias en la producción de plástico para reconocer que, si no se interviene, empeorarán.

Para controlar la crisis de los plásticos será necesario seguir investigando, junto con las intervenciones basadas en la ciencia -leyes, políticas, seguimiento, aplicación, incentivos e innovaciones- que han controlado con éxito y rentabilidad otras formas de contaminación y han catalizado el cambio de los sistemas.^{30,32,34}

El objetivo de esta Cuenta atrás de *The Lancet* sobre la salud y los plásticos es constituir un sistema de vigilancia mundial independiente, basado en indicadores y centrado en la salud, que haga un seguimiento e informe periódicamente sobre los progresos realizados en la reducción de la exposición a los plásticos y la mitigación de los daños asociados a los plásticos para la salud humana y planetaria a medida que entra en vigor el Tratado Mundial sobre los Plásticos y se aplican las intervenciones regionales, nacionales y subnacionales.

Al hacer visibles los impactos relacionados con los plásticos en la salud humana y planetaria, esta Cuenta Atrás situará la salud en el centro de la conversación sobre los plásticos. Esperamos que los informes generados por la Cuenta Atrás proporcionen datos y perspectivas sólidos que sirvan de base para la formulación de políticas basadas en datos empíricos sobre los plásticos a todos los niveles -internacional, regional, nacional, subnacional y local- en beneficio de la salud pública.

Colaboradores

PJL, JR, MT, SD, HR, JS, MS, JM, CS y TCC fueron responsables de la conceptualización de la Cuenta Atrás de *The Lancet* sobre salud y plásticos, de la administración del proyecto, y dirigieron la supervisión y redacción de este artículo. PJL dirigió y todos los autores contribuyeron a la redacción del borrador original y a la edición del texto completo.

Declaración de intereses

PJL recibió apoyo para estudios y viajes de la Fundación Mindereroo y honorarios de consultoría del Centre Scientifique de Monaco. SD recibió apoyo para viajes de la Fundación Mindereroo y del Centre Scientifique de Monaco; y es empleado de la Fundación Mindereroo. CS es empleado de la Fundación Mindereroo, recibió apoyo para viajes de ésta y forma parte de la junta de supervisión de la seguridad de los datos del Instituto Murdoch de Investigación Infantil.

JM recibió subvenciones de la Fundación Mindereroo, la Fondation Didier et Martine Primat, Minerva Stiftung, la Fundación Adessium, la Fundación Broad Reach, la Fundación Marisla, la Fundación Spronck, la Fundación Sympany, el Consejo Noruego de Investigación y la Universidad Noruega de Tecnología de Trondheim, y la Comisión Europea de Utrecht; honorarios del Pew Charitable Trust, Japan Endocrine-Disruptor Preventive Action, y HEJ Support; viajes de Gordon Research Conference on Environmental Endocrine Disruptors 2024, Zero Waste Europe, Stoelzle Group, Boston College (MA, EE.UU.), Uppsala Health Summit, New York University Plastics Summit, Heinrich-Böll-Stiftung y Plastic Health Council; formó parte del consejo asesor del proyecto MOMENTUM y del Tratado Mundial sobre los Plásticos de las Naciones Unidas; es miembro del comité

de Bio Suisse; es miembro del consejo de la fundación Global Footprint Network; es directora del FAN Initiative Foresight Analyses Nexus; y es miembro de la junta directiva de la Scientists' Coalition for an Effective Plastics Treaty. MS trabaja para el Acuario de la Bahía de Monterrey, recibe ayudas y apoyo para viajes; preside el Comité de la Iniciativa sobre Cuestiones de Salud Medioambiental sobre microplásticos y seminarios web sobre salud de la Academia Nacional de Ciencias; y preside el Grupo de Expertos sobre Contaminación por Plásticos del Consejo Científico Internacional. BCA recibió apoyo de la Universidad de Nueva York (NY, EE.UU.) para asistir a la Cumbre de Salud NYU Langone 2024. MC recibió becas y apoyo para viajes de la Fundación Mindereroo. LF recibió apoyo del Boston College (MA, EE.UU.); y asesora como consultor independiente al Acuario de la Bahía de Monterrey y al Foro sobre Comercio, Medio Ambiente y ODS. RK ha recibido subvenciones de Pew Charitable Trusts, la Universidad de Duke (Carolina del Norte, EE. UU.), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y ClimateWorks; ayuda para viajes de la Universidad de Portsmouth (Reino Unido); y es miembro del Comité de la Mesa Redonda sobre Plásticos de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina. TM recibió ayudas de la Fundación Mindereroo; subvenciones de la Fundación Resolve y del Plastics Solutions Fund; y desempeña un papel de liderazgo o fiduciario en la Climate Policy Initiative, el Asia Reuse Consortium y Break Free From Plastic. DMM recibió ayuda para viajes de la Fundación Mindereroo. YM recibió apoyo de la Fundación Mindereroo. YP recibió apoyo de la Fundación Mindereroo. CAV ha recibido subvenciones del Fondo de Investigación para la Innovación y los Retos Mundiales del Reino Unido, de Grid-Arendal, del Grupo del Banco Mundial a través de UN Operations y de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y de la UE a través del acuerdo de subvención de UK Research Innovation; honorarios de consultoría de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), EMG, el Resources and Waste Advisory Group (con fondos de la GIZ), la ICF (con fondos de The Pew Charitable Trusts) y MARS (a través de Imperial Consultants); honorarios de Frontiers, la Universidad de Brunel (Reino Unido) y el Imperial College de Londres (Reino Unido); ayudas para viajes del Centro Internacional de Tecnología Medioambiental del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y de la Asociación Mundial contra la Basura Marina, el Boston College (MA, EE.UU.), la Asociación Internacional de Residuos Sólidos, la Universidad del Egeo, la Universidad Técnica Nacional de Atenas (Grecia), la Universidad Técnica de Yildiz (Turquía), la Embajada Británica de Atenas y la Fundación Benéfica Athanasios C Laskaridis; forma parte del comité directivo de Systemiq Indonesia; p r e s i d e el grupo de trabajo sobre basura marina de la Asociación Internacional de Residuos Sólidos; participa en el foro de política e innovación de la Chartered Institution of Wastes Management; y es propietario y director de Fuelogy. MW ha recibido subvenciones de la Agencia Noruega de Medio Ambiente, ayudas para viajes del Instituto de Posgrado de Ginebra y de la Fundación del Foro de Envases Alimentarios; es miembro del consejo asesor científico de la Fundación del Foro de Envases Alimentarios; y forma parte del comité directivo de la Coalición de Científicos por un Tratado Eficaz sobre los Plásticos. ZW ha recibido subvenciones de la Fundación Nacional Suiza para la Ciencia (180544), de Horizonte 2020 Investigación e Innovación de la UE (subvención 10103G75G), de la Oficina Federal Suiza de Medio Ambiente (8T20/17.0103.PJ) y de la Oficina Federal Suiza de Salud Pública (18.000809), la Oficina de Residuos, Agua, Energía y Aire del Cantón de Zúrich (85P-1454) y la OCDE; honorarios de consultoría de la Agencia Noruega de Medio Ambiente; y ayuda para viajes del Panel Internacional sobre Contaminación Química. TJW ha recibido ayudas del Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Medioambiental, la Fundación JPB, Tides y Broadreach, los Institutos Nacionales de Salud y el Instituto Nacional de Salud Infantil y Desarrollo Humano, la Fundación Passport, la Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud Medioambiental, la Agencia de Protección Medioambiental de EE.UU. e ICF, la Fundación Marisla, el Centro de Revisión Científica de los Institutos Nacionales de Salud, la Fundación Forsythia, la Fundación Cornell Douglass y The Fine Fund (todas ellas pagadas al instituto); honorarios del Departamento de Salud del Estado de Nueva York; ayudas para viajes de la Sociedad para la Investigación y Prevención de Defectos de Nacimiento, la Fundación JPB y la Universidad del Sur de California (California, EE.UU.); es miembro del consejo asesor del Comité de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina sobre Estudios Medioambientales y Toxicología. Prevention, la JPB Foundation y la Universidad del Sur de California (CA, EE.UU.); es miembro del consejo asesor del Comité de la Junta de Estudios Medioambientales y Toxicología de las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina (BEST), la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU., el Consejo de Asesores Científicos (BOSC), el Consorcio de Pruebas de Políticas Estatales de la Universidad de California (CalSPEC) y The Examination; es revisor de comités del Centro de Ciencias de la Salud Medioambiental de la Universidad del Sur de California y la Universidad Estatal de California (CA, EE.UU.); es miembro de Healthy Babies Bright Futures (Bebés sanos, futuros prometedores).

Advisory Board y Science Action Network for Health and the Environment; y tiene acciones en Fannie Mae. Todos los demás autores declaran no tener intereses contrapuestos.

Agradecimientos

La Fundación Minderero ha financiado parte de las reuniones y viajes relacionados con la redacción de este manuscrito de la Cuenta atrás de *The Lancet* sobre salud y plástico. El Boston College, el Centre Scientifique de Monaco y la Universidad de Heidelberg han proporcionado financiación adicional. Además, el Centre Scientifique de Monaco apoyó el primer taller y March, Ltd. y la Universidad de Heidelberg, junto con el Instituto Oceanográfico Woods Hole, apoyaron el segundo taller. Además, los investigadores afiliados a la actividad reciben apoyo para sus contribuciones de donantes específicos.

El Grupo Lancet adopta una posición neutral con respecto a las reivindicaciones territoriales en los mapas publicados.

Referencias

- Thompson RC, Swan SH, Moore CJ, vom Saal FS. Nuestra era plástica. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009; **364**: 1973-7G.
- Monclús L, Arp H, Groh K, et al. Mapping the chemical complexity of plastics. *Nature* 2025; **643**: 349-55.
- Cabernard L, Pfister S, Oberschelp C, Hellweg S. Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion. *Nat Sustain* 2022; **5**: 139-48.
- Centro de Derecho Ambiental Internacional. Fueling plastics: fossils, plastics, & petrochemical feedstocks. 15 de septiembre de 2021. <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2017/09/Fueling-Plastics-Fossils-Plastics-Petrochemical-Feedstocks.pdf> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Agencia Europea de Medio Ambiente. Plastics, the circular economy and Europe's environment - a priority for action. 28 de enero de 2021. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/plastics-the-circular-economy-and> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Hurley R, Horton A, Lusher A, Nizzetto L. Chapter 7 - plastic waste in the terrestrial environment. En: Letcher TM, ed. *Plastic waste and recycling*. Academic Press, 2020: 1G3-93.
- Cordier M, Uehara T, Jorgensen B, Baztan J. Reducción de la producción de plástico: ¿pérdida económica o ganancia medioambiental? *Camb Prisms Plast* 2024; **2**: e2.
- Cosgrove B. 'Throwaway living': cuando tirarlo todo estaba de moda. 15 de mayo de 2014. <https://time.com/3879873/throwaway-living-when-tossing-it-all-was-all-the-rage/> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Harper PC, Fowler JA. Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (*Pachyptila* spp.), 1958-1977. *Notornis* 1987; **34**: G5-70.
- Carpenter EJ, Smith KL Jr. Plásticos en la superficie del mar de los Sargazos. *Science* 1972; **175**: 1240-41.
- Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, et al. Perdidos en el mar: ¿dónde está todo el plástico? *Science* 2004; **304**: 838.
- Montoto-Martínez T, De la Fuente J, Puig-Lozano R, et al. Microplásticos, bisfenoles, ftalatos y pesticidas en especies de odontocetos de la Región Macaronésica (Atlántico Norte Oriental). *Mar Pollut Bull* 2021; **173**: 113105.
- Routti H, Harju M, Lühmann K, et al. Concentrations and endocrine disruptive potential of phthalates in marine mammals from the Norwegian Arctic. *Environ Int* 2021; **152**: 106458.
- Yamashita R, Hiki N, Kashiwada F, et al. Plastic additives and legacy persistent organic pollutants in the preen gland oil of seabirds sampled across the globe. *Environ Monit Contam Res* 2021; **1**: 97-112.
- Matsunaga L, Takada H, Sakane F, et al. Benzotriazole UV-stabilizers in beached plastic resin pellets collected across the world including remote islands: evidence of plastic-mediated long-range environmental transport (LRET) of additives. *Environ Monit Contam Res* 2025; **5**: 2G-34.
- Crech JL Jr, Johnson MN. Angiosarcoma de hígado en la fabricación de cloruro de polivinilo. *J Occup Med* 1974; **16**: 150-51.
- Schuele H, Baum CF, Landrigan PJ, Hawkins SS. Asociaciones entre la proximidad a la actividad de producción de gas en los condados y los resultados del nacimiento en los Estados Unidos. *Prev Med Rep* 2022; **30**: 102007.
- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. Programa nacional de biomonitorización. 2024. <https://www.cdc.gov/biomonitoring/index.html> (consultado el 2 de diciembre de 2024).
- Cropper M, Dunlop S, Hinshaw H, Landrigan P, Park Y, Symeonides C. The benefits of removing toxic chemicals from plastics. *Proc Natl Acad Sci USA* 2024; **121**: e2412714121.
- Thompson RC, Courteney-Jones W, Boucher J, Pahl S, Raubenheimer K, Koelmans AA. Veinte años de investigación sobre la contaminación por microplásticos: ¿qué hemos aprendido? *Science* 2024; **386**: ead1274G.
- Zheng K, Zeng Z, Lin Y, Wang Q, Tian Q, Huo X. Current status of indoor dust PBDE pollution and its physical burden and health effects on children. *Environ Sci Pollut Res Int* 2023; **30**: 19G42-G1.
- Muncke J, Andersson A-M, Backhaus T, et al. Impacts of food contact chemicals on human health: a consensus statement. *Environ Health* 2020; **19**: 25.
- Landrigan PJ, Raps H, Cropper M, et al. La Comisión Minderero-Monaco sobre plásticos y salud humana. *Ann Glob Health* 2023; **89**: 23.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Global plastics outlook: economic drivers, environmental impacts and policy options. 22 de febrero de 2022. https://www.oecd.org/en/publications/global-plastics-outlook_de747aef-en.html (consultado el 15 de diciembre de 2022).
- Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados. *Sci Adv* 2017; **3**: e1700782.
- Plastics Europe. Plásticos - los datos rápidos 2024. 2024. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2024/11/PE_TheFacts_24_digital-1pager.pdf (consultado ene G, 2025).
- Villarrubia-Gómez P, Carney Almroth B, Eriksen M, Ryberg M, Cornell SE. La contaminación por plásticos agrava los impactos de todos los límites planetarios. *One Earth* 2024; **7**: 2119-38.
- Stegmann P, Daioglou V, Londo M, van Vuuren DP, Junginger M. Futuros plásticos y sus emisiones de CO₂. *Nature* 2022; **612**: 272-7G.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Perspectivas mundiales del plástico: escenarios políticos hasta 20G0. 21 de junio de 2022. <https://www.oecd.org/en/events/2022/06/Global-plastics-outlook-policy-scenarios-to-20G0.html#~:text=Plastic%20pollution%20is%20one%20of,by%20G0%20from%202019%20levels> (accessed 19 de julio de 2025).
- Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos. Beneficios y costes de la Ley de Aire Limpio 1990-2020, el segundo estudio prospectivo. Marzo de 2011. <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Grosse SD, Matte TD, Schwartz J, Jackson RJ. Ganancias económicas derivadas de la reducción de la exposición infantil al plomo en Estados Unidos. *Environ Health Perspect* 2002; **110**: 5G3-G9.
- ONU. Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. 1 de enero de 1989. <https://treaties.un.org/doc/publication/unts/volume%201522/volume-1522-i-2G3G9-english.pdf> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Stone KA, Solomon S, Kinnison DE, Mills MJ. On recent large Antarctic ozone holes and ozone recovery metrics. *Geophys Res Lett* 2021; **48**: e2021GL095232.
- ONU. Plan de acción de género para el Convenio de Minamata sobre Mercurio. Enero, 2025. https://minamataconvention.org/sites/default/files/documents/2025-01/Minamata_Gender-Action-Plan.pdf (consultado el 19 de febrero de 2025).
- Lau WWY, Shiran Y, Bailey RM, et al. Evaluación de escenarios hacia la contaminación cero por plástico. *Science* 2020; **369**: 1455-G1.
- Nathalia Silva DSLCL, Rutkowski EW, Velis CA. Systems analysis of packaging HDPE plastic recycling chain - an informal sector circular economy case in Brazil, Global South: stakeholder dynamics, material quality, rejects and value appropriation| Research Square. 7 de octubre de 2024. <https://assets-eu.researchsquare.com/files/rs-5147384/v1/Gb5G3G4-7bGd-4c4G-93dG-9efb1Gd929ce.pdf?c=1728505390> (consultado el 19 de julio de 2025).
- Carney Almroth B, Carmona E, Chukwuone N, et al. Abordar el problema de los productos químicos tóxicos en el reciclaje de plásticos. *Camb Prisms Plast* 2025; **3**: e3.
- Moon S, Tangri N, Bonisoli-Alquati A, et al. Unpacking plastic credits: challenges to effective and just global plastics governance. *Una Tierra* 2025; **8**: 101303.
- FuenteMaterial. La quema de plásticos y la emisión de gases tóxicos, temas centrales de la "compensación de plásticos". 12 de febrero de 2025. <https://www.source-material.org/plastic-credits-offsetting-burning-toxic-emissions-cambodia/> (consultado el 19 de febrero de 2025).

- 40 Nielsen TD, Holmberg K, Strippel J. ¿Necesitas una bolsa? Una revisión de las políticas públicas sobre bolsas de plástico: ¿dónde, cómo y con qué efecto? *Waste Manag* 2019; **87**: 428-40.
- 41 Baztan J, Jorgensen B, Carney Almroth B, et al. Polímeros plásticos primarios: reducción ascendente urgentemente necesaria. *Camb Pristas Plast* 2024; **2**: e7.
- 42 Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos. Escenarios políticos para eliminar la contaminación por plásticos en 2040. 2 de octubre de 2024. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/10/policy-scenarios-for-eliminating-plastic-pollution-by-2040_28eb953G/7G400890-en.pdf (consultado el 19 de julio de 2025).
- 43 Oficina del Consejo Legislativo del Estado de California. SB-54 Residuos sólidos: presentación de informes, envases y vajilla de plástico para el servicio de alimentos. 1 de junio de 2022. https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=2021202205B54 (consultado el 9 de noviembre de 2022).
- 44 Agencia de Protección Ambiental de California. Planet vs. plastics: how CalEPA is tackling the plastic pollution problem. 2025. <https://calepa.ca.gov/2024/05/01/planet-vs-plastics/> (acceso 19 de mayo de 2025).
- 45 División de Agua Potable, Junta Estatal de Control de los Recursos Hídricos. Policy handbook establishing a standard method of testing and reporting of microplastics in drinking water. 9 de agosto de 2022. https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/docs/2022/mp-hndbk.pdf (consultado el 19 de mayo de 2025).
- 46 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Resolución 5/14: Poner fin a la contaminación por plásticos: hacia un instrumento internacional jurídicamente vinculante. 7 de marzo de 2022. <https://digitallibrary.un.org/record/3999257?ln=en&v=pdf> (consultado el 19 de julio de 2025).
- 47 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Resolución sobre el artículo G - producción sostenible. 2024. https://resolutions.unep.org/incres/uploads/text_proposal_-_article_G_-_panama_on_behalf_of_a_group_of_countries_1.pdf (consultado el 30 de junio de 2025).
- 48 Puente a Busan y más allá. Declaración sobre productos plásticos y sustancias químicas preocupantes. 2024. <https://www.bridgetobusan.com/ppcc> (consultado el 20 de febrero de 2025).
- 49 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. El despertar de Niza para un tratado ambicioso sobre los plásticos. 2025. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20250G_The_Nice_wake_up_call_for_an_ambitious_plastics_treaty.pdf (consultado el 30 de junio de 2025).
- 50 Puente a Busan y más allá. Stand up for ambition. 2024. <https://www.bridgetobusan.com/sufa> (consultado el 20 de febrero de 2025).
- 51 OMS. Garantizar la integración de los aspectos sanitarios en el instrumento internacional jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, incluso en el medio marino. 22 de noviembre de 2024. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/4GG0/WHO.pdf> (consultado el 21 de enero de 2025).
- 52 Deeney M, Yates J, Banner J, Kadiyala S. Ending pollution and health harms from plastics. *BMJ* 2025; **388**: r71.
- 53 ONU. La contaminación por plásticos, una amenaza mundial para los derechos humanos, según expertos de la ONU. 21 de noviembre de 2024. <https://www.ohchr.org/en/press-releases/2024/11/plastic-pollution-global-threat-human-rights-say-un-experts> (consultado el 3 de febrero de 2025).
- 54 Stoett P. El colonialismo de los residuos plásticos: una tipología de la toxicidad global. En: Gündoğdu S, ed. Plastic waste trade: a new colonialist means of pollution transfer. Springer Nature Switzerland, 2024: 3-15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51358-9_1.
- 55 Chao L, Geyer R, Hu S. 100 years of plastic - using the past to guide the future. *arXiv* 2024; publicado en línea el 20 de noviembre. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.13G18> (preprint).
- 56 Pottinger AS, Geyer R, Biyani N, et al. Pathways to reduce global plastic waste mismanagement and greenhouse gas emissions by 2050. *Science* 2024; **386**: 11G8-73.
- 57 Salzman A. El plástico está en todas partes. Ahora las grandes petroleras lo producen aún más. 12 de abril de 2024. <https://www.barrons.com/articles/shell-chevron-oil-chemicals-plastics-d75f8fee> (consultado el 30 de junio de 2025).
- 58 Morales-Caselles C, Viejo J, Martí E, et al. An inshore-offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nat Sustain* 2021; **4**: 484-93.
- 59 Chen Y, Awasthi AK, Wei F, Tan Q, Li J. Plásticos de un solo uso: producción, uso, eliminación e impactos adversos. *Sci Total Environ* 2021; **752**: 141772.
- G0 Cottom JW, Cook E, Velis CA. A local-to-global emissions inventory of macroplastic pollution. *Nature* 2024; **633**: 101-08.
- G1 Administración de Información Energética de Estados Unidos. Producción neta de las refinerías. 30 de noviembre de 2022. https://www.eia.gov/dnav/pet/PET_PNP_REFP2_DC_NUS_MBBL_A.htm (consultado el 20 de diciembre de 2022).
- G2 Dhakal S, Minx JC, Toth FL, et al. Emissions trends and drivers. 2022. https://www.ipcc.ch/report/arG/wg3/downloads/report/IPCC_ARG_WGIII_Chapter02.pdf (consultado el 19 de julio de 2025).
- G3 Fundación Ellen Macarthur. La nueva economía del plástico: repensar el futuro de los plásticos. 1 de enero de 201G. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics> (consultado el 19 de julio de 2025).
- G4 BP. BP energy outlook 2019. 2019. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf> (consultado el 19 de julio de 2025).
- G5 Karali N, Khanna N, Shah N. Climate impact of primary plastic production. Abril, 2024. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/climate_and_plastic_report_final.pdf (consultado el 19 de julio de 2025).
- GG Tilsted JP, Bauer F, Deere Birkbeck C, Skovgaard J, Rootzén J. Ending fossil-based growth: confronting the political economy of petrochemical plastics. *Una Tierra* 2023; **6**: G07-19.
- G7 Bauer F, Fontenit G. Plastic dinosaurs - digging deep into the accelerating carbon lock-in of plastics. *Energy Policy* 2021; **156**: 112418.
- G8 Bauer F, Nielsen TD, Nilsson LJ, et al. Plastics and climate change-breaking carbon lock-ins through three mitigation pathways. *One Earth* 2022; **5**: 3G1-7G.
- G9 Eunomia, Oficina Cuáquera ante las Naciones Unidas. Dinero de plástico: cerrando el grifo de las subvenciones. Nov, 2024. <https://eunomia.eco/wp-content/uploads/2024/11/Plastic-Production-Subsidies-Modelling-Phase-2-report-v1.0.pdf> (consultado el 12 de diciembre de 2024).
- 70 Transparencia Internacional. Índice de percepción de la corrupción 2024. 2025. <https://www.transparency.org/en/cpi/2024> (consultado el 19 de julio de 2025).
- 71 Romanello M, Walawender M, Hsu S-C, et al. The 2024 report of the *Lancet* Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action. *Lancet* 2024; **404**: 1847-9G.
- 72 Symeonides C, Aromataris E, Mulders Y, et al. An umbrella review of meta-analyses evaluating associations between human health and exposure to major classes of plastic-associated chemicals. *Ann Glob Health* 2024; **90**: 52.
- 73 Lithner D, Larsson A, Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Sci Total Environ* 2011; **409**: 3309-24.
- 74 Wiesinger H, Wang Z, Hellweg S. Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environ Sci Technol* 2021; **55**: 9339-51.
- 75 Hahladakis JN, Velis CA, Weber R, Iacovidou E, Purnell P. Una visión general de los aditivos químicos presentes en los plásticos: migración, liberación, destino e impacto ambiental durante su uso, eliminación y reciclaje. *J Hazard Mater* 2018; **344**: 179-99.
- 76 Persson L, Carney Almroth BM, Collins CD, et al. Fuera del espacio operativo seguro del límite planetario para nuevas entidades. *Environ Sci Technol* 2022; **56**: 1510-21.
- 77 Wiesinger H, Shalin A, Huang X, et al. LitChemPlast: an open database of chemicals measured in plastics. *Environ Sci Technol Lett* 2024; **11**: 1147-G0.
- 78 Comisión Europea. Iniciativa europea de biovigilancia humana. 2024. <https://cordis.europa.eu/project/id/733032> (consultado 11 de diciembre de 2024).
- 79 Centro Nacional de Estadísticas Sanitarias. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (NHANES). 2024. <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/index.html> (consultado el 11 de diciembre de 2024).
- 80 Wang A, Abrahamsson D, Jiang T, et al. Cribado de sospecha, priorización y confirmación de sustancias químicas ambientales en parejas madre-recién nacido de San Francisco. *Environ Sci Technol* 2021; **55**: 5037-49.
- 81 Bousoumah R, Leso V, Iavicoli I, et al. Biomonitoring of occupational exposure to bisphenol A, bisphenol S and bisphenol F: a systematic review. *Sci Total Environ* 2021; **783**: 14G905.
- 82 Peinado FM, Iribarne-Durán LM, Artacho-Cordón F. Exposición humana a bisfenoles, parabenos y benzofenonas, y su relación con la respuesta inflamatoria: una revisión sistemática. *Int J Mol Sci* 2023; **24**: 7325.
- 83 Chen D, Kannan K, Tan H, et al. Bisphenol analogues other than BPA: environmental occurrence, human exposure, and toxicity-a review. *Environ Sci Technol* 201G; **50**: 5438-53.

- 84 Liu R, Mabury SA. Synthetic phenolic antioxidants: a review of environmental occurrence, fate, human exposure, and toxicity. *Environ Sci Technol* 2020; **54**: 1170G-19.
- 85 Katsikantami I, Sifakis S, Tzatzarakis MN, et al. A global assessment of phthalates burden and related links to health effects. *Environ Int* 201G; **97**: 212-3G.
- 8G Wu Z, He C, Han W, et al. Exposure pathways, levels and toxicity of polybrominated diphenyl ethers in humans: a review. *Environ Res* 2020; **187**: 109531.
- 87 Cai K, Song Q, Yuan W, et al. Human exposure to PBDEs in e-waste areas: a review. *Environ Pollut* 2020; **267**: 115G34.
- 88 Ma Y, Stubbings WA, Cline-Cole R, Harrad S. Human exposure to halogenated and organophosphate flame retardants through informal e-waste handling activities - a critical review. *Environ Pollut* 2021; **268**: 115727.
- 89 Zimmermann L, Scheringer M, Geueke B, et al. Implementing the EU Chemicals Strategy for Sustainability: the case of food contact chemicals of concern. *J Hazard Mater* 2022; **437**: 1291G7.
- 90 Gerassimidou S, Lanska P, Hahladakis JN, et al. Unpacking the complexity of the PET drink bottles value chain: a chemicals perspective. *J Hazard Mater* 2022; **430**: 128410.
- 91 Tang C, Gómez Ramos MJ, Heffernan A, et al. Evaluation and identification of chemical migrants leached from baby food pouch packaging. *Chemosphere* 2023; **340**: 139758.
- 92 Foro de envasado de alimentos. Base de datos FCCmigex. 19 de mayo de 2022. [https:// foodpackagingforum.org/resources/databases/fccmigex](https://foodpackagingforum.org/resources/databases/fccmigex) (consultado el 20 de enero de 2025).
- 93 Geueke B, Groh KJ, Maffini MV, et al. Systematic evidence on migrating and extractable food contact chemicals: most chemicals detected in food contact materials are not listed for use. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2023; **63**: 9425-35.
- 94 Muncke J, Geueke B, Parkinson L, Zimmermann L. Contaminantes del envasado de alimentos. En: Smithers GW, ed. Encyclopedia of food safety, 2ª edn. Academic Press, 2024: 321-33.
- 95 Geueke B, Parkinson LV, Groh KJ, et al. Evidence for widespread human exposure to food contact chemicals. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2024; **35**: 3301-41.
- 9G Foro de envasado de alimentos. Base de datos FCCchumon. 2024. [https:// foodpackagingforum.org/resources/databases/fccchumon](https://foodpackagingforum.org/resources/databases/fccchumon) (consultado el 20 de enero de 2025).
- 97 Wirth DA, Cropper M, Axelrad DA, et al. Productos químicos manufacturados y salud infantil - la necesidad de una nueva ley. *N Engl J Med* 2025; **392**: 299-305.
- 98 Seewoo BJ, Goodes LM, Mofflin L, et al. The plastic health map: a systematic evidence map of human health studies on plastic-associated chemicals. *Environ Int* 2023; **181**: 108225.
- 99 Qian S, Ji H, Wu X, et al. Análisis de detección y cuantificación de migrantes químicos en productos plásticos en contacto con alimentos. *PLoS One* 2018; **13**: e02084G7.
- 100 Instituto de Derecho Ambiental. Autoridades federales estadounidenses existentes para abordar la contaminación plástica: una sinopsis para los responsables de la toma de decisiones. Octubre, 2024. https://www.eli.org/sites/default/files/files-pdf/October%202024%20Update%20-%20Existing%20U.S.%20Federal%20Authorities%20to%20Address%20Plastic%20Pollution_1.pdf (consultado el 19 de mayo de 2025).
- 101 Caporale N, Leemans M, Birgersson L, et al. From cohorts to molecules: adverse impacts of endocrine disrupting mixtures. *Science* 2022; **375**: eabe8244.
- 102 Trasande L, Krithivasan R, Park K, Obsekov V, Belliveau M. Productos químicos utilizados en materiales plásticos: una estimación de la carga de enfermedad atribuible y los costes en los Estados Unidos. *J Endocr Soc* 2024; **8**: bvad1G3.
- 103 Comisión Europea. Commission regulation (EU) 2023/2055 - restriction of microplastics intentionally added to products. 2023. https://single-market-economy.ec.europa.eu/commission-regulation-eu-20232055-restriction-microplastics-intentionally-added-products_en (consultado el 20 de enero de 2025).
- 104 Leyes mundiales sobre el plástico. Búsqueda. 2023. <https://www.globalplasticlaws.org/search> (consultado el 20 de enero de 2025).
- 105 Liu P, Zhan X, Wu X, Li J, Wang H, Gao S. Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: properties, sorption and potential risks. *Chemosphere* 2020; **242**: 125193.
- 10G Boucard P, Denize C, Aydin M. ETC HE report 2024/15: microplastic releases in the European Union. 2024. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2024-15-microplastic-releases-in-the-european-union> (consultado el 30 de junio de 2025).
- 107 Agencia Europea de Medio Ambiente. Microplastic releases to the environment (indicador). 2025. <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/microplastic-releases-to-the-environment> (consultado el 30 de junio de 2025).
- 108 Suzuki G, Uchida N, Tanaka K, et al. Global discharge of microplastics from mechanical recycling of plastic waste. *Environ Pollut* 2024; **348**: 123855.
- 109 Li Y, Liu C, Yang H, et al. Lixiviación de sustancias químicas de microplásticos: revisión de tipos químicos, mecanismos de lixiviación y factores influyentes. *Sci Total Environ* 2024; **906**: 1G7GGG.
- 110 Ryan AC, Allen D, Allen S, et al. Transporte y deposición de partículas microplásticas de origen oceánico por un huracán del Atlántico Norte. *Commun Earth Environ* 2023; **4**: 1-10.
- 111 Malli A, Corella-Puertas E, Hajjar C, Boulay A-M. Mecanismos de transporte y destino de microplásticos en compartimentos estuarinos: una revisión. *Mar Pollut Bull* 2022; **177**: 113553.
- 112 Lwanga EH, Beriot N, Corradini F, et al. Review of microplastic sources, transport pathways and correlations with other soil stressors: a journey from agricultural sites into the environment. *Chem Biol Technol Agric* 2022; **9**: 1-20.
- 113 Bergmann M, Collard F, Fabres J, et al. Plastic pollution in the Arctic. *Nat Rev Earth Environ* 2022; **3**: 323-37.
- 114 Van Cauwenbergh L, Vanreusel A, Mees J, Janssen CR. Contaminación microplástica en sedimentos de aguas profundas. *Environ Pollut* 2013; **182**: 495-99.
- 115 Zhang Y, Gao T, Kang S, Allen S, Luo X, Allen D. Microplastics in glaciers of the Tibetan plateau: evidence for the long-range transport of microplastics. *Sci Total Environ* 2021; **758**: 143G34.
- 11G Yao L, Hui L, Yang Z, Chen X, Xiao A. Freshwater microplastics pollution: detecting and visualizing emerging trends based on Citespace II. *Chemosphere* 2020; **245**: 125G27.
- 117 Milne MH, De Frond H, Rochman CM, Mallos NJ, Leonard GH, Baechler BR. Exposure of US adults to microplastics from commonly-consumed proteins. *Environ Pollut* 2024; **343**: 123233.
- 118 Koelmans AA, Mohamed Nor NH, Hermesen E, Kooy M, Mintenig SM, De France J. Microplásticos en aguas dulces y agua potable: revisión crítica y evaluación de la calidad de los datos. *Water Res* 2019; **155**: 410-22.
- 119 Oliveri Conti G, Ferrante M, Banni M, et al. Microplásticos y nanoplasticos en frutas y verduras comestibles. La primera evaluación de riesgos dietéticos para la población general. *Environ Res* 2020; **187**: 109G77.
- 120 Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA. Microplásticos en mariscos y las implicaciones para la salud humana. *Curr Environ Health Rep* 2018; **5**: 375-8G.
- 121 Clere IK, Ahmmed F, Remoto PIJG, et al. Cuantificación y caracterización de microplásticos en peces comerciales del sur de Nueva Zelanda. *Mar Pollut Bull* 2022; **184**: 114121.
- 122 Kedzierski M, Lechat B, Sire O, Le Maguer G, Le Tilly V, Bruzaud S. Microplastic contamination of packaged meat: occurrence and associated risks. *Food Packag Shelf Life* 2020; **24**: 100489.
- 123 Giese A, Kerpen J, Weber F, Prediger J. Estudio preliminar de la abrasión microplástica del sistema de tapón de rosca de botellas de plástico reutilizables mediante microespectroscopia Raman. *ACS ES T Agua* 2021; **1**: 13G3-G8.
- 124 Park I, Yang W, Lim D-K. Estado actual de las materias orgánicas en el agua potable embotellada en Corea. *ACS ES T Water* 2022; **2**: 738-48.
- 125 Cella C, La Spina R, Mehn D, et al. Detección de micro y nanoplasticos liberados de envases de alimentos: desafíos y estrategias analíticas. *Polymers* 2022; **14**: 1238.
- 12G Zangmeister CD, Radney JG, Benkstein KD, Kalanyan B. Common single-use consumer plastic products release trillions of sub-100 nm nanoparticles per liter into water during normal use. *Environ Sci Technol* 2022; **56**: 5448-55.
- 127 Lin P-Y, Wu I-H, Tsai C-Y, Kirankumar R, Hsieh S. Detecting the release of plastic particles in packaged drinking water under simulated light irradiation using surface-enhanced Raman spectroscopy. *Anal Chim Acta* 2022; **1198**: 33951G.

- 128 Hee YY, Weston K, Suratman S. El efecto de las condiciones de almacenamiento y el lavado en la liberación de microplásticos de los envases de alimentos y bebidas. *Food Packag Shelf Life* 2022; **32**: 10082G.
- 129 Alak G, Köktürk M, Atamanalp M. Evaluation of different packaging methods and storage temperature on MPs abundance and fillet quality of rainbow trout. *J Hazard Mater* 2021; **420**: 12G573.
- 130 Zimmermann L, Geueke B, Parkinson LV, Schür C, Wagner M, Muncke J. Food contact articles as source of micro- and nanoplastics: a systematic evidence map. *NPJ Sci Food* 2025; **9**: 111.
- 131 Liss PS. Microplásticos: ¿todo en el aire? *Mar Pollut Bull* 2020; **153**: 110952.
- 132 Allen D, Allen S, Abbasi S, et al. Microplastics and nanoplastics in the marine-atmosphere environment. *Nat Rev Earth Environ* 2022; **3**: 393-405.
- 133 Fan W, Salmond JA, Dirks KN, Cabedo Sanz P, Miskelly GM, Rindelaub JD. Evidencia y cuantificación masiva de microplásticos atmosféricos en una ciudad costera de Nueva Zelanda. *Environ Sci Technol* 2022; **56**: 1755G-G8.
- 134 Enfrin M, Myszkla R, Giustozzi F. Pavimentación de carreteras con plásticos reciclados: ¿contaminación por microplásticos o solución ecológica? *J Hazard Mater* 2022; **437**: 129334.
- 135 Yao Y, Glamoclija M, Murphy A, Gao Y. Caracterización de microplásticos en el aire interior y ambiental en el norte de Nueva Jersey. *Environ Res* 2022; **207**: 112142.
- 136 Gaston E, Woo M, Steele C, Sukumaran S, Anderson S. Microplastics differ between indoor and outdoor air masses: insights from multiple microscopy methodologies. *Appl Spectrosc* 2020; **74**: 1079-98.
- 137 Kern DG, Crausman RS, Durand KTH, Nayer A, Kuhn C 3rd. Flock worker's lung: chronic interstitial lung disease in the nylon flocking industry. *Ann Intern Med* 1998; **129**: 2G1-72.
- 138 Barceló D, Picó Y, Alfarran AH. Microplásticos: detección en muestras humanas, estudios de líneas celulares e impactos en la salud. *Environ Toxicol Pharmacol* 2023; **101**: 104204.
- 139 Xu J-L, Wright S, Rauert C, Thomas KV. ¿Son los microplásticos malos para la salud? Se necesita más rigor científico. *Nature* 2025; **639**: 300-02.
- 140 Chartres N, Cooper CB, Bland G, et al. Effects of microplastic exposure on human digestive, reproductive, and respiratory health: a rapid systematic review. *Environ Sci Technol* 2024; **58**: 22843-G4.
- 141 Yan Z, Liu Y, Zhang T, Zhang F, Ren H, Zhang Y. El análisis de microplásticos en heces humanas revela una correlación entre los microplásticos fecales y el estado de la enfermedad inflamatoria intestinal. *Environ Sci Technol* 2022; **56**: 414-21.
- 142 Horvatis T, Tamminga M, Liu B, et al. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine* 2022; **82**: 104147.
- 143 Marfella R, Prattichizzo F, Sardù C, et al. Microplastics and nanoplastics in atheromas and cardiovascular events. *N Engl J Med* 2024; **390**: 900-10.
- 144 Rahman A, Sarkar A, Yadav OP, Achari G, Slobodnik J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: a scoping review. *Sci Total Environ* 2021; **757**: 143872.
- 145 Deeney M, Yates J, Fernandez M, et al. La salud humana en el Tratado Mundial sobre los Plásticos. 2024. https://ikhapp.org/wp-content/uploads/2024/09/Human-Health-Policy-Brief_2G.11.2024.pdf (acceso 11 de febrero de 2025).
- 146 Johansson N, Velis C, Corvellec H. Towards clean material cycles: is there a policy conflict between circular economy and non-toxic environment? *Waste Manag Res* 2020; **38**: 705-07.
- 147 Velis CA, Cook E. Mala gestión de los residuos plásticos mediante la quema a cielo abierto con énfasis en el sur global: una revisión sistemática de los riesgos para la salud ocupacional y pública. *Environ Sci Technol* 2021; **55**: 718G-207.
- 148 Alabi OA, Ologbonjaye KI, Awosolu O, Alalade OE. Efectos en la salud pública y ambiental de la eliminación de desechos plásticos: una revisión. *J Toxicol Risk Assess* 2019; **5**: 1-13.
- 149 Hess KZ, Forsythe KR, Wang X, et al. Serie de investigadores emergentes: vertido abierto y quema: una fuente pasada por alto de microplásticos terrestres en comunidades desatendidas. *Environ Sci Process Impacts* 2025; **27**: 52-G2.
- 150 Maalouf A, Cook E, Velis CA, Mavropoulos A, Godfrey L, Kamariotakis H. From dumpsites to engineered landfills: a systematic review of risks to occupational and public health. *engxiv* 2020; publicado en línea el 5 de diciembre. <https://doi.org/10.31224/osf.io/G5m89> (preprint).
- 151 Lowe CN, Phillips KA, Favela KA, et al. Chemical characterization of recycled consumer products using suspect screening analysis. *Environ Sci Technol* 2021; **55**: 11375-87.
- 152 Carmona E, Rojo-Nieto E, Rummel CD, et al. A dataset of organic pollutants identified and quantified in recycled polyethylene pellets. *Data Brief* 2023; **51**: 109740.
- 153 Cook E, Velis CA, Gerassimidou S, Ramola A, Ragossnig A. Physical processing, dismantling and hydrometallurgical treatment of e-waste: a systematic review of risks to occupational and public health. *engxiv* 2020; publicado en línea dic G. <https://doi.org/10.31224/osf.io/hpyjm> (preprint).
- 154 Dong H, Chen Y, Wang J, et al. Interacciones de microplásticos y genes de resistencia a los antibióticos y sus efectos en los entornos de acuicultura. *J Hazard Mater* 2021; **403**: 1239G1.
- 155 Brauge T, Mougin J, Ells T, Midelet G. Fuentes y vías de contaminación de alimentos marinos con *Vibrio* spp. patógenos humanos: A Farm-to-Fork approach. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2024; **23**: e13283.
- 156 Liyanage P, Tozan Y, Overgaard HJ, Aravinda Tissera H, Rocklöv J. Effect of El Niño-Southern Oscillation and local weather on *Aedes* vector activity from 2010 to 2018 in Kalutara district, Sri Lanka: un análisis jerárquico en dos etapas. *Lancet Planet Health* 2022; **6**: e577-85.
- 157 The Lancet. Dengue: la amenaza para la salud ahora y en el futuro. *Lancet* 2024; **404**: 311.
- 158 Weldu AM, Mebrahtu A, Yakob I. Assessment of container breeding preference, distribution and composition of human biting mosquitoes (Diptera: *Culicidae*) larvae within the urban and semi-urban sites of the Gash Barka zone, Eritrea. *Int J Mosq Res* 2024; **11**: 185-93.
- 159 Kaur K, Reddy S, Barathe P, et al. Microplastic-associated pathogens and antimicrobial resistance in environment. *Chemosphere* 2022; **291**: 133005.
- 160 Stevenson EM, Buckling A, Cole M, Lindeque PK, Murray AK. Selection for antimicrobial resistance in the plastisphere. *Sci Total Environ* 2024; **908**: 1G8234.
- 161 Abe K, Nomura N, Suzuki S. Biofilms: hot spots of horizontal gene transfer (HGT) in aquatic environments, with a focus on a new HGT mechanism. *FEMS Microbiol Ecol* 2020; **96**: fiae031.
- 162 Zhang S, Liu X, Qiu P, et al. Microplastics can selectively enrich intracellular and extracellular antibiotic resistant genes and shape different microbial communities in aquatic systems. *Sci Total Environ* 2022; **822**: 153488.
- 163 Laganà P, Caruso G, Corsi I, et al. ¿Sirven los plásticos como un posible vector para la propagación de la resistencia a los antibióticos? Primeros conocimientos a partir de bacterias asociadas a una pieza de poliestireno de la isla Rey Jorge (Antártida). *Int J Hyg Environ Health* 2019; **222**: 89-100.
- 164 Merline Sheela A, Dhinakaran G. Prevalencia de microplásticos, genes resistentes a los antibióticos y biopelículas asociadas a microplásticos en estuario - una revisión. *Environ Eng Res* 2023; **28**: 220325.
- 165 Giam CS, Chan HS, Neff GS, Atlas EL. Phthalate ester plasticizers: a new class of marine pollutant. *Science* 1978; **199**: 419-21.
- 166 Milne MH, Helm PA, Munno K, Bhavsar SP, Rochman CM. Microplastics and anthropogenic particles in recreationally caught freshwater fish from an urbanized region of the North American great lakes. *Environ Health Perspect* 2024; **132**: 77004.
- 167 Chen L, Zhou S, Zhang Q, Su B, Yin Q, Zou M. Global occurrence characteristics, drivers, and environmental risk assessment of microplastics in lakes: a meta-analysis. *Environ Pollut* 2024; **344**: 123321.
- 168 Pellegrino D, La Russa D, Barberio L. Pollution has no borders: microplastics in Antarctica. *Environments* 2025; **12**: 77.
- 169 Zhang Y, Wu P, Xu R, et al. Plastic waste discharge to the global ocean constrained by seawater observations. *Nat Commun* 2023; **14**: 1372.
- 170 Bubu-Davies OA, Anwuri PA. Microplásticos: impactos potenciales en la biodiversidad acuática. *Trop Freshwat Biol* 2023; **31**: 45-G0.
- 171 Tekman MB, Walther BA, Peter C, Gutow L, Bergmann M. Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems. 8 de febrero de 2022. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf_impacts_of_plastic_pollution_on_biodiversity.pdf (consultado el 20 de julio de 2025).

- 172 Zhu R, Zhang Z, Zhang N, et al. A global estimate of multiccosystem photosynthesis losses under microplastic pollution. *Proc Natl Acad Sci USA* 2025; **122**: e2423957122.
- 173 Jamil A, Ahmad A, Moeen-Ud-Din M, et al. Unveiling the mechanism of micro-and-nano plastic phytotoxicity on terrestrial plants: a comprehensive review of omics approaches. *Environ Int* 2025; **195**: 109257.
- 174 Kublik S, Gschwendtner S, Magritsch T, Radl V, Rillig MC, Schlöter M. Microplastics in soil induce a new microbial habitat, with consequences for bulk soil microbiomes. *Front Environ Sci* 2022; **10**: 9892G7.
- 175 Li Y, Hou Y, Hou Q, et al. Parámetros de la comunidad microbiana del suelo afectados por microplásticos y otros residuos plásticos. *Front Microbiol* 2023; **14**: 1258G0G.
- 176 Bocktor J, Hoyle FC, Farag MA, et al. Microplastics and nanoplastics: fate, transport, and governance from agricultural soil to food webs and humans. *Environ Sci Eur* 2025; **37**: G8.
- 177 Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Desechos marinos: comprender, prevenir y mitigar los efectos adversos significativos en la biodiversidad marina y costera. 201G <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-83-en.pdf> (consultado el 24 de enero de 2025).
- 178 Steinhäuser KG, Von Gleich A, Große Ophoff M, Körner W. La necesidad de un marco global vinculante para la gestión sostenible de productos químicos y materiales-interacciones con el clima y la biodiversidad. *Sustain Chem* 2022; **3**: 205-37.
- 179 Beaumont NJ, Aanesen M, Austen MC, et al. Impactos ecológicos, sociales y económicos globales del plástico marino. *Mar Pollut Bull* 2019; **142**: 189-95.
- 180 Landrigan PJ, Stegeman JJ, Fleming LE, et al. Salud humana y contaminación oceánica. *Ann Glob Health* 2020; **86**: 151.
- 181 Garrido Gamarro E, Ryder J, Elvevoll EO, Olsen RL. Microplásticos en pescados y mariscos: ¿una amenaza para la seguridad del marisco? *J Aquat Food Prod Technol* 2020; **29**: 417-25.
- 182 Jeong E, Lee J-Y, Redwan M. Animal exposure to microplastics and health effects: a review. *Emerg Contam* 2024; **10**: 1003G9.
- 183 Gabrey SW. Abundancia de aves y pequeños mamíferos en cuatro tipos de instalaciones de gestión de residuos en el noreste de Ohio. *Landsc Urban Plan* 1997; **37**: 223-33.
- 184 Wei X-F, Yang W, Hedenqvist MS. Plastic pollution amplified by a warming climate. *Nat Commun* 2024; **15**: 2052.
- 185 Napper IE, Baroth A, Barrett AC, et al. The abundance and characteristics of microplastics in surface water in the transboundary Ganges River. *Environ Pollut* 2021; **274**: 11G348.
- 186 van Sebille E, Aliani S, Law KL, et al. The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environ Res Lett* 2020; **15**: 023003.
- 187 Youvan DC. Facing the flame: the hidden vulnerabilities of Los Angeles en la era de los incendios forestales y los conflictos globales. 11 de enero de 2025. https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Youvan/publication/387939841_Facing_the_Flame_The_Hidden_Vulnerabilities_of_Los_Angeles_in_the_Era_of_Wildfire_and_Global_Conflict/links/G78311013e33dd0be9fd11cf/Facing-the-Flame-The-Hidden-Vulnerabilities-of-Los-Angeles-in-the-Era-of-Wildfire-and-Global-Conflict.pdf (consultado el 7 de julio de 2025).
- 188 The Pew Charitable Trusts, SYSTEMIQ. Breaking the plastic wave: a comprehensive assessment of pathways towards stopping ocean plastic pollution. 2020. https://www.pew.org/-/media/assets/2020/07/breakingtheplasticwave_report.pdf (acceso 19 de julio de 2025).
- 189 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Cerrando el grifo. Cómo el mundo puede acabar con la contaminación por plásticos y crear una economía circular. 2023. <https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/Turning%2520off%2520the%2520Tap.pdf> (consultado el 23 de mayo de 2023).
- 190 Organización Mundial del Comercio. Diálogo sobre la contaminación por plásticos y el comercio de plásticos ambientalmente sostenible: informe fáctico de la encuesta sobre las medidas relativas a los plásticos relacionadas con el comercio (TRPM). 4 de octubre de 2023. <https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=q:/INF/TEIDP/W11.pdf&Open=True> (consultado el 21 de enero de 2025).
- 191 March A, Salam S, Evans T, Hilton J, Fletcher S. A global review of plastics policies to support improved decision making and public accountability. 2022. <https://plasticpolicy.port.ac.uk/wp-content/uploads/2022/10/GPPC-Report.pdf> (consultado el 19 de julio de 2025).
- 192 March A, Karasik R, Roberts K, Evans T. El conocimiento limitado de la eficacia de las políticas nacionales sobre plásticos puede obstaculizar el progreso mundial. *Camb Prisms Plast* 2023; **1**: e14.
- 193 The Lancet. Health Day at COP28: a hard-won (partial) gain. *Lancet* 2023; **402**: 21G7.
- 194 Whitmee S, Haines A, Beyrer C, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *Lancet* 2015; **386**: 1973-2028.
- 195 Consejo de Investigación de los Países Bajos. Planteamiento del plan de impacto. 19 de enero de 2025. <https://www.nwo.nl/en/impact-plan-approach> (consultado 24 de enero de 2025).

Copyright© 2025 Elsevier Ltd. Reservados todos los derechos, incluidos los de minería de textos y datos, formación en IA y tecnologías similares.