

La Contaminación por Plásticos Marinos como Amenaza a los Límites Planetarios - La pieza a la deriva en el rompecabezas de la sostenibilidad

Patricia Villarrubia-Gómez, Sarah E. Cornell, Joan Fabres

Resumen

El aumento exponencial del uso del plástico en la sociedad moderna y la gestión inadecuada de los residuos resultantes han provocado su acumulación en el medio marino. Cada vez hay más pruebas de los numerosos mecanismos por los que la contaminación marina por plástico está causando efectos en los sucesivos niveles de organización biológica. Esto afectará inevitablemente a las comunidades ecológicas y a las funciones de los ecosistemas. Una pregunta que queda por responderse es si la concentración de plástico en el océano, hoy o en el futuro, alcanzará niveles superiores a un umbral crítico que provoque efectos globales en procesos vitales del sistema Tierra, lo que obliga a considerar la contaminación marina por plásticos como un componente clave de la amenaza al límite planetario asociado a los contaminantes químicos. Las posibles respuestas a esta pregunta se exploran revisando y evaluando los conocimientos existentes sobre los efectos de la contaminación por plásticos en los ecosistemas marinos y los "límites planetarios centrales", la integridad de la biosfera y el cambio climático. La irreversibilidad y ubicuidad global de la contaminación marina por plásticos significa que ya se cumplen dos condiciones esenciales para que exista una amenaza para los límites planetarios. Las consecuencias de la contaminación por plásticos para el sistema Tierra son aún inciertas, pero se han identificado vías y mecanismos para cambio de umbrales y sistémico global. Independientemente del reconocimiento del plástico como una nueva entidad en el marco de los límites planetarios, lo cierto es que la contaminación por plásticos marinos está estrechamente entrelazada con los procesos globales hasta un punto que merece una gestión y prevención cuidadosas.



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koman_Gorge_the_sad_side_floating_plastic_island_\(45679217132\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koman_Gorge_the_sad_side_floating_plastic_island_(45679217132).jpg)
gailhampshire from Cradley, Malvern, U.K, CC BY 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>>, via Wikimedia Commons

1. Introducción: la contaminación por plásticos marinos como riesgo emergente del Antropoceno

Las actividades humanas son capaces de modificar el funcionamiento normal de los procesos del sistema Tierra de formas que amplifican los riesgos para las sociedades de todo el mundo [1]. Una de las actividades antropogénicas más conspicuas es la manufactura, uso y eliminación del plástico. Este material sintético está tan extendido por el medio ambiente que el plástico se considera ya un marcador geológico del Antropoceno, la época emergente en la que las actividades humanas influyen decisivamente en el estado, la dinámica y el futuro del sistema Tierra [2].

La producción masiva de plástico despegó rápidamente desde la década de 1950, dando forma al desarrollo de la sociedad moderna [3], [4]. La producción mundial de resina plástica pasó de alrededor de 1,5 millones de toneladas en 1950 [5] a 322 millones de toneladas en 2015 [6]. Se calcula que durante 2010 llegaron a los océanos entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de residuos plásticos terrestres mal gestionados [7]. La cantidad absoluta es difícil de calcular, debido a las muchas fuentes diferentes y vías de transporte ambiental, pero la contaminación marina por plásticos (CMP)¹ es ahora omnipresente en el medio marino. Se ha documentado que afecta negativamente a organismos, ecosistemas, bienestar humano y sectores socioeconómicos como el turismo, la acuicultura y la navegación [8], [9], [10]. El reciente aumento de los estudios sobre la CMP refleja una creciente consternación por sus impactos [11]. Se ha realizado una primera evaluación global de las fuentes, destinos y efectos de los microplásticos en los océanos [12], [13], en la que se destaca la necesidad de una actuación política y social y se identifican las prioridades clave de la investigación para fundamentar esta actuación.

Recientemente, la atención científica se ha centrado en los plásticos como posible amenaza para los límites planetarios [14], [15], [16]. El marco de los límites planetarios [17] define límites de precaución para varias perturbaciones antropogénicas, fijados en niveles para evitar umbrales o cambios en el funcionamiento del sistema Tierra que generarían riesgos crecientes para las sociedades del mundo. Al identificar variables de control mensurables y fijar límites, el marco demarca un "espacio operativo seguro" global para la humanidad. En la síntesis científica de Rockström et al. [17] y posteriormente en la de Steffen et al. [1], la contaminación química y las entidades noveles se señalaron como temas de consternación, pero no se propuso ningún límite planetario cuantificado.

Junto con los esfuerzos para hacer operativos los límites planetarios como marco de integración de políticas de sostenibilidad global [18], [19], [20], [21], el límite de las entidades novedosas se está debatiendo cada vez más en la comunidad científica. Rockström et al. [17] sugirieron que las variables de control podrían definirse en términos de emisiones, concentraciones o efectos de sustancias químicas como los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los metales pesados o los plásticos. Sala y Saouter [22] señalaron que, en principio, las sustancias químicas podrían priorizarse en función de su impacto en determinadas funciones ecológicas, lo que permitiría establecer un límite planetario cuantificado agregado. Por el contrario, Persson et al. [23] argumentaron que "no existe un único límite planetario de la contaminación química, sino que existen muchos problemas de límites planetarios regidos por la contaminación química". Persson et al. [23] y MacLeod et al. [24] propusieron criterios para que un contaminante químico suponga una amenaza para la frontera planetaria. Estos criterios se analizan y adaptan en las secciones siguientes. Steffen et al. [1] esbozaron los fundamentos del límite de contaminación química de forma más completa, ampliando la cuestión para incluir una gama más amplia de nuevas entidades sintéticas o antropogénicas liberadas en el

¹ El término "contaminación marina" se refiere a la introducción de sustancias nocivas o potencialmente nocivas en el mar, pero puede ser políticamente ambiguo, ya que se refiere tanto a las sustancias en sí como a la responsabilidad moral por los daños causados por la contaminación [99]. El uso de "contaminación por plásticos marinos" (en lugar de basura plástica o residuos plásticos) pone de relieve esta naturaleza sociopolítica de la materia.

medio ambiente. Sin embargo, la falta de consenso sobre los tipos de umbrales que no deben traspasarse, la gran diversidad de sustancias liberadas al medio ambiente y la elevada incertidumbre sobre su comportamiento individual e interactivo han hecho que no se haya sugerido ningún límite [25], aunque la amenaza planetaria de la contaminación química se reconoce en efecto como una tarea social pendiente [24]. Estas graves limitaciones de conocimiento también se aplican a la CMP.

El presente estudio parte de las ideas expuestas en tres estudios recientes [15], [16] y [26] en los que se plantea la cuestión de establecer un límite planetario para la contaminación marina por plásticos y se reflexiona sobre sus implicaciones para la gestión y la política medioambientales. Los procesos ecológicos, desde la escala subcelular hasta la ecosistémica, pueden verse afectados de muchas maneras por los plásticos marinos [16], y las interacciones físico-biológicas pueden desempeñar un papel determinante en el destino a gran escala y a largo plazo de los plásticos marinos [15], [26]. Estos estudios esbozan una agenda de investigación para caracterizar las fuentes, vías, degradación y destino final del plástico en el medio marino. Combinando estas diferentes perspectivas y centrándose en las formas en que la CMP afecta a los procesos del sistema terrestre, se puede evaluar si la CMP cumple los requisitos para ser designada como sub-límite del límite de las nuevas entidades y de qué manera.

2. Fundamento: la perspectiva del Sistema Tierra sobre las nuevas entidades

2.1. Una brecha entre la ciencia y la gobernanza del Sistema Tierra

En su aspecto más fundamental, el Sistema Tierra está formado por las interacciones dinámicas de los componentes físicos y vivos de la Tierra [27], [28], [29]. El marco de los límites planetarios lo considera un sistema socioecológico acoplado, en el que las sociedades del mundo influyen cada vez más en la trayectoria biofísica de la Tierra.

Steffen et al. [1] definieron las entidades novedosas como "sustancias nuevas [...] que tienen el potencial de producir efectos geofísicos y/o biológicos no deseados". Argumentaron que las nuevas entidades se convierten en una preocupación planetaria cuando muestran persistencia, distribución a distintas escalas y el potencial de afectar a los procesos vitales del sistema Tierra. Al investigar la CMP como amenaza planetaria, la principal inquietud no son sus efectos sobre las personas, ni siquiera sobre los organismos marinos como tales, sino sobre el comportamiento biofísico del sistema Tierra en su conjunto, con el reto adicional para la política y la operacionalización de que el comportamiento que nos preocupa no tiene, por definición, precedentes.

Se plantean muchas cuestiones científicas abiertas sobre qué aspectos del comportamiento planetario importan y en qué escalas temporales. Para la mayoría de los procesos de los límites planetarios, el Holoceno proporciona una línea de

La comprensión de la contaminación por plásticos como un problema sistémico global es incipiente. Las evaluaciones recientes todavía tienden a documentar los problemas con una perspectiva antropocéntrica sobre la salud humana, o los ecosistemas económicamente significativos en la actualidad, en lugar de la resiliencia de la Tierra.

base de estabilidad climática y ecológica comparativa [30], [31]. Para las nuevas entidades, sin embargo, no existe tal línea de base. Éstas existen gracias al ingenio, la capacidad y la tecnología de la humanidad moderna para eludir muchas limitaciones físicas y materiales del entorno. La ciencia del sistema Tierra se enfrenta a dificultades persistentes para integrar la actividad humana en sus marcos conceptuales [32], [33], [34], y la aparición de nuevas entidades (como el plástico marino) pone de manifiesto las limitaciones de la comprensión científica actual. Los efectos en el sistema Tierra que podrían hacer de la CMP una amenaza para el límite planetario podrían implicar umbrales o cambios de régimen

[35], [36] dentro de los "componentes" del sistema Tierra, como colapsos de ecosistemas, y en los vínculos dinámicos entre los componentes del sistema, "cambios de marcha" entre procesos físicos y ecológicos.

La comprensión de la contaminación por plásticos como un problema sistémico global es incipiente. Las evaluaciones recientes [13], [37], [38], [39], [40] todavía tienden a documentar los problemas con una perspectiva antropocéntrica sobre la salud humana, o sobre los ecosistemas económicamente significativos en la actualidad, en lugar de la resiliencia de la Tierra. También ponen de manifiesto lagunas fundamentales en los conocimientos sobre el destino de los plásticos y sus efectos geofísicos y biológicos.

En este contexto, la política sobre los plásticos marinos también está aún emergiendo [9], [37]. Actualmente se está debatiendo la necesidad de un convenio internacional sobre la contaminación o los residuos plásticos marinos [38],

A pesar de la creciente atención prestada al plástico marino en estos contextos, la integración y la coherencia de las políticas siguen siendo una brecha de gobernanza muy grande.

[39]. Entre los principales instrumentos internacionales que regulan la contaminación de origen marino se encuentran el Convenio de Londres,² especialmente su Protocolo de Londres de 1996,³ y MARPOL 73/78,⁴ que se aplica a través de la legislación nacional en los países firmantes. Los

instrumentos mundiales que regulan la contaminación de origen terrestre, pero no específicamente plástica, incluyen los Convenios de Estocolmo,⁵ Rotterdam⁶ y Basilea.⁷ Sólo la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar⁸ establece la obligación general de prevenir todas las fuentes terrestres de contaminación marina. A escala europea, la Directiva Marco Estratégica Marina (Descriptor 10)⁹ y el artículo⁹ de la Comunicación Conjunta sobre la gobernanza internacional de los océanos [40] se ocupan de la contaminación por plásticos, en apoyo del Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas [41]. A pesar de la creciente atención prestada al plástico marino en estos contextos, la integración y la coherencia de las políticas siguen siendo una brecha de gobernanza muy grande [42].

2.2. Un nuevo enfoque para la evaluación de los límites

Esta exploración de la viabilidad de clasificar la contaminación por plásticos marinos como sub-límite contribuye a un

Aunque se dispone de cierta información sobre la cantidad de material plástico que se produce y se libera, sigue habiendo un profundo desconocimiento y una gran incertidumbre sobre las vías que sigue realmente el plástico en el medio marino.

debate en curso sobre la contaminación química y las entidades novedosas como límite planetario. Una entidad debe cumplir simultáneamente tres condiciones propuestas y escenarios asociados [23], [24], esbozados a continuación en la Fig. 1, para poder ser considerada un límite planetario. Estas condiciones se propusieron

inicialmente para la contaminación química, principalmente por sustancias sintéticas, donde existe un acuerdo más amplio sobre cómo definir la toxicidad y el peligro. Al aplicar este enfoque conceptual a la CMP, surgen dos grandes

² Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx

³ Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Documents/PROTOCOLAmended2006.pdf.

⁴ International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, [www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx).

⁵ Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview>

⁶ Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade, www.pic.int.

⁷ Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, www.basel.int, and action under its 2017 COP-13 Decision on marine litter, www.basel.int/Implementation/MarinePlasticLitterandMicroplastics/Overview/tabid/6068/Default.aspx.

⁸ United Nations Convention on the Law of the Sea, www.un.org/depts/los.

⁹ Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0056>.

retos, relacionados con importantes lagunas en materia de conocimientos, gobernanza y políticas.

En primer lugar, durante mucho tiempo se ha considerado que la gran mayoría del plástico es "seguro" (no tóxico o de baja toxicidad). Los métodos de evaluación del peligro químico que se utilizan actualmente se centran en la exposición de los organismos, en lugar de en el funcionamiento ecológico multiescala del sistema Tierra. En lugar de proponer la identificación de "niveles peligrosos", un enfoque basado en los límites planetarios debería centrarse en la caracterización de las "vías peligrosas" que pueden alterar la dinámica del sistema Tierra.

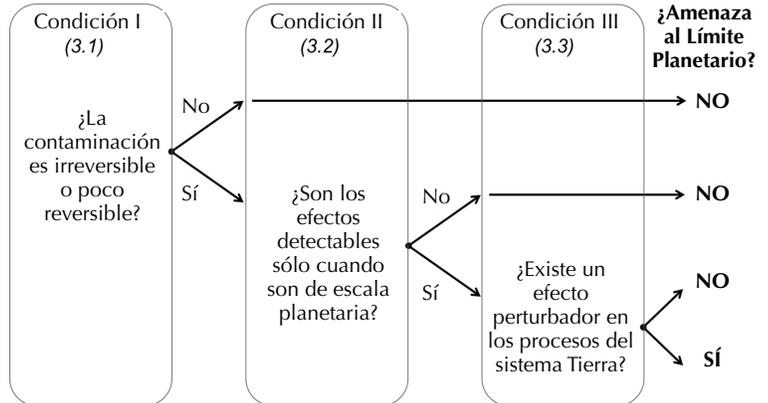


Fig. 1. Condiciones en las que la contaminación por plásticos marinos puede considerarse una amenaza para los límites planetarios. Los números entre paréntesis indican la sección en la que se examina la condición. (Adaptado de las condiciones propuestas para la contaminación química en las refs. [23], [24]).

En segundo lugar, los efectos del plástico en el sistema terrestre son irreductiblemente complejos, con un comportamiento medioambiental poco predecible, destinos e interacciones con otras sustancias químicas, tanto naturales como sintéticas. Aunque se dispone de cierta información sobre la cantidad de material plástico que se produce y se libera, sigue habiendo un profundo desconocimiento y una gran incertidumbre sobre las vías que sigue realmente el plástico en el medio marino. Esta exploración se centra en dos vías o escenarios indicativos: los efectos ecológicos sobre las redes tróficas y los efectos biogeoquímicos sobre el secuestro de carbono marino, en los que las pruebas científicas pueden reconstruirse con solidez y en los que pueden distinguirse con relativa claridad los efectos directos, indirectos y en cascada que se combinan para alterar la dinámica del sistema Tierra.

3. ¿Cumple el plástico marino los criterios de amenaza planetaria?

3.1. ¿Es poco reversible la exposición a la contaminación por plástico marino?

Desde una perspectiva estratigráfica, existe un claro umbral del Antropoceno [2] entre los sistemas preplásticos y postplásticos, pero para que un contaminante químico suponga una amenaza planetaria [24], su exposición ambiental y/o sus efectos perturbadores deben ser poco reversibles. La contaminación por plásticos marinos siempre cumplirá esta condición, ya que el destino final de la mayoría de los plásticos mal gestionados es el océano.

La ubicuidad de los residuos plásticos y la inviabilidad de su eliminación sustancial del medio marino, especialmente en el caso de las partículas de tamaño microscópico, significa que la exposición es esencialmente irreversible [43]. Estimaciones recientes sugieren la presencia de al menos 5 billones de piezas de plástico flotando en los océanos [44]. Se ha observado material plástico en la mayoría de los dominios del entorno físico, incluida la biosfera [45], la criosfera [46], [47], los sedimentos oceánicos [2] e incluso la atmósfera [48], hasta el punto de que últimamente se ha considerado el plástico como un marcador estratigráfico del Antropoceno [49]. La CMP se está acumulando alrededor de las zonas de convergencia en los cinco giros oceánicos subtropicales [44], [50] y en el océano Ártico [51]. Estas zonas de acumulación a gran escala son consecuencia del efecto de los vientos, las corrientes oceánicas superficiales y la circulación termohalina. Además, se han registrado concentraciones comparables a las de los giros subtropicales cerca de zonas muy pobladas como el mar Mediterráneo [52], la bahía de Bengala, el mar de China Meridional y el

Los organismos que ingieren y posteriormente excretan CMP, también desempeñan un papel en la distribución global de partículas de plástico. Esta vía biológica no puede detenerse ni invertirse.

golfo de México [53]. Los organismos que ingieren y posteriormente excretan CMP, también desempeñan un papel en la distribución global de partículas de plástico [50], [54], [55], [56]. Esta vía biológica no puede detenerse ni invertirse.

Los efectos medioambientales de la CMP también son esencialmente irreversibles. El plástico sirve de sustrato muy eficaz para especies sésiles (por ejemplo, percebes, gusanos tubícolas y moluscos bivalvos), así como de plataforma temporal o balsa para organismos móviles [8]. Se ha descubierto que el plástico alberga especies de floraciones de algas nocivas [57], virus [58] y comunidades microbianas, cada vez más reconocidas como la "Plastisfera" [59]. Es un vector

Cada partícula de plástico tiene la capacidad de transportar organismos vivos y de redistribuir sustancias nocivas, alterando la composición y el funcionamiento de los ecosistemas y modificando la diversidad genética. Estas propiedades no pueden desactivarse.

para el transporte de especies exóticas invasoras [8], [60], y de contaminantes orgánicos persistentes que pueden ser ingeridos en concentraciones muy superiores a las del agua de mar ambiente [61], [62]. Por tanto, independientemente de su tamaño, cada partícula de plástico tiene la capacidad de transportar

organismos vivos y de redistribuir sustancias nocivas, alterando la composición y el funcionamiento de los ecosistemas y modificando la diversidad genética [10]. Estas propiedades no pueden desactivarse [43].

La meteorización de los macroplásticos es una de las principales fuentes de las partículas de plástico de tamaño microscópico presentes actualmente en el medio marino [16], [64]. Los principales mecanismos para ello son la degradación por acción mecánica de las olas, la fotodegradación por UV y la bioincrustación y degradación biológica [16], [64], [65]. Estudios recientes también destacan la importancia de la descomposición en tierra de las fibras textiles como fuente de microplásticos [66], [67]. Así pues, aunque las entradas de macroplásticos en el océano disminuyan sustancialmente en un futuro próximo, la cantidad de microplásticos y nanoplásticos en el medio marino seguirá aumentando inevitablemente, con una perspectiva asociada de exposición cambiante y efectos complejos en los distintos ecosistemas.

3.2. ¿Se detectan los efectos de la contaminación marina por plásticos sólo cuando el problema es de escala planetaria?

MacLeod et al. [24] definieron cuatro posibles escenarios por los que los efectos perturbadores de un determinado contaminante químico no se descubren hasta que se convierten en un problema a escala planetaria:

- i. las concentraciones del contaminante son casi homogéneas a escala mundial;
- ii. los efectos se distribuyen rápidamente a escala mundial
- iii. los efectos del contaminante sólo son observables a escala global; y
- iv. existe un desfase temporal entre la exposición al contaminante y los efectos.

De aquí que estas hipótesis sean fácilmente aplicables a los contaminantes moleculares de larga vida y, por tanto, bien mezclados en el medio ambiente, como los CFC que agotan la capa de ozono y los gases sintéticos de efecto invernadero que afectan a las propiedades radiativas de la atmósfera global. Los CFC demuestran claramente la posibilidad de una "ecotoxicidad planetaria" incluso cuando las propias sustancias fueron evaluadas como de muy baja toxicidad.

Al tratarse de una sustancia en fase sólida y no de un contaminante molecular, el plástico en el medio marino exige que se adopte una perspectiva diferente en estos escenarios. La CMP tiene efectos directos sobre los organismos, efectos indirectos como vector o portador de otros contaminantes, y efectos sistémicos que se propagan en cascada por los ecosistemas a múltiples escalas temporales y espaciales (Fig. 2). El reto de definir qué constituye un cambio a escala planetaria, y no simplemente la suma agregada de muchos cambios locales, es un debate en curso en varios contextos de aplicación del marco de los límites planetarios [68], [69], [70], [71], [72], [73].

El escenario i ya se cumple: el plástico se está redistribuyendo por los océanos del mundo desde las regiones de alta concentración de entrada, como se ha señalado anteriormente.

Que el plástico marino cumpla los escenarios ii-iv depende de los efectos en cuestión, y también de cómo se conceptualicen los efectos "a escala global". Los efectos directos de los CMP sobre los organismos (por ejemplo, por ingestión o atrapamiento) suelen considerarse problemas "locales" -que pueden resolverse con respuestas sociales a escala local-, pero cada vez se reconocen más como problemas de consternación global porque se han acumulado hasta tal punto que ya son evidentes en todo el mundo (Fig. 2, curva A). El intervalo entre la exposición (entendida como el momento en que el plástico llega al medio marino) y los efectos a nivel de organismo suele ser corto. Sin embargo, en este contexto de redistribución y homogeneización global, la dinámica oceánica también está contribuyendo a la creación de zonas de alta acumulación, geográficamente alejadas de las fuentes. La escala temporal de la conectividad global superficie-océano es más rápida que otros procesos de circulación oceánica, debido a la presencia y acción de organismos vivos [74]. Por tanto, a través de la dinámica ecológica, los efectos de los CMP se extienden por grandes regiones, así como en puntos calientes [14], [51], lo que demuestra un desfase temporal entre la exposición ambiental a los plásticos marinos y los eventuales efectos causados.

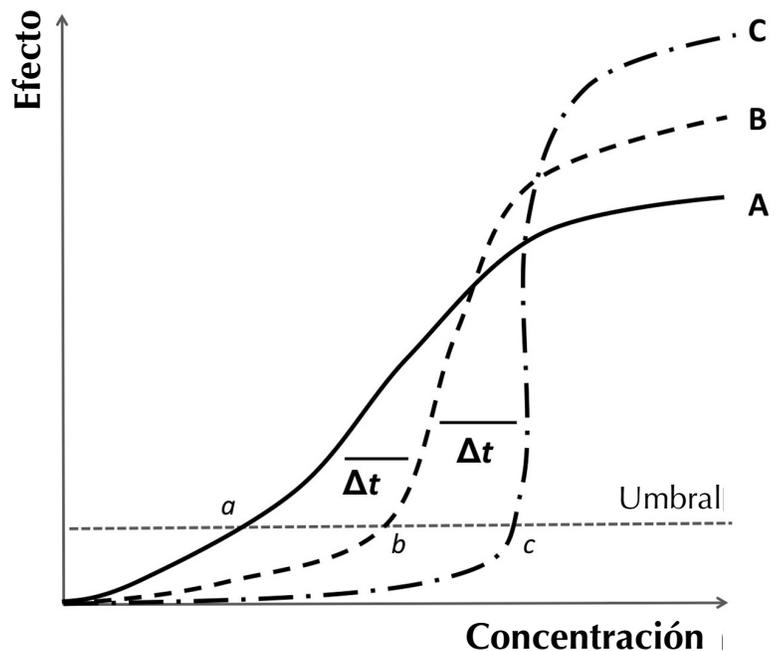


Fig. 2. Dinámica espacial y temporal a gran escala de la contaminación marina por plásticos. A. Efectos sobre los organismos -efectos "locales" directos, observados en todo el mundo. Umbral fijado normativamente como límite de precaución (por ejemplo, exposición máxima aceptable de las poblaciones). B. Efectos sobre los ecosistemas: efectos a largo plazo (Δt) en grandes regiones. El umbral b refleja un cambio estructural a nivel de ecosistema (por ejemplo, pérdida de especies clave). C. Efecto en cascada sobre la función global del ecosistema (por ejemplo, impactos globalizados de bioacumulación tóxica sobre géneros o familias). Efecto mínimo observado hasta que se produce un cambio crítico en el ecosistema (c).

Estos efectos sistémicos indirectos y en cascada pueden representar un problema a escala planetaria, ilustrado con una

Hoy en día, la presencia de plástico en la cadena alimentaria marina está ampliamente reconocida. Se ha reportado la ingestión y transferencia de partículas de plástico a lo largo de la cadena alimentaria, desde la base hasta la cima, incluso en humanos.

consideración de los efectos de los residuos plásticos en los ecosistemas marinos. Hoy en día, la presencia de plástico en la cadena alimentaria marina está ampliamente reconocida [45]. Se ha reportado la ingestión y transferencia de partículas de plástico a lo largo de la cadena alimentaria, desde la base [45], [75]

hasta la cima, incluso en humanos [76]. Se han observado efectos en suborganismos (por ejemplo, en células, sistemas de órganos) [16], así como efectos en organismos y conjuntos ecológicos [11]. En este sentido, la rápida distribución global de los efectos del plástico (escenario ii) no es sólo una cuestión geoespacial, sino también ecológica y trófica (Fig. 2, curva B).

Los organismos marinos pueden bioacumular sustancias nocivas a través de toda la red trófica, en interacciones a escala cruzada coherentes con el escenario iii (aunque Koelmans et al. [77] sugieren que la ingestión de microplásticos no aumenta significativamente el riesgo de transferencia de sustancias peligrosas a la fauna marina). Los efectos nocivos de los residuos plásticos pueden derivarse de la toxicidad de las sustancias añadidas a los polímeros durante la producción de plástico (por ejemplo, plastificantes, retardantes de llama, colorantes), y de otras sustancias químicas absorbidas en las superficies de plástico desde el agua de mar [8], [78], [79]. Podría producirse un retraso entre la exposición y los efectos si, por ejemplo, se altera la capacidad reproductora de algunas especies. Se ha observado que una ingesta elevada de microplásticos tiene efectos adversos sobre la asignación de energía, la fecundidad y la reproducción (entre otros impactos) en ostras [80] y copépodos [81]. Los copépodos desempeñan un papel crucial en las cadenas tróficas y el ciclo del carbono, ya que se alimentan de fitoplancton y son presa de organismos más grandes. También se han expresado preocupaciones similares sobre los efectos físicos y toxicológicos de la ingestión de plásticos por parte de los peces linterna [82]. Así pues, estos impactos pueden tener un efecto retardado sobre los organismos tróficos superiores.

3.3. ¿Existe un efecto perturbador en los procesos del Sistema Tierra?

El reconocimiento de que el plástico puede alterar la estructura y las funciones de los ecosistemas marinos en todo el mundo (Fig. 2, curva C) nos lleva a la pregunta más difícil e incierta del marco [24]: ¿tiene CMP un efecto perturbador en los procesos del sistema Tierra? Los efectos perturbadores, los umbrales o los cambios de régimen pueden definirse de muchas maneras diferentes [86], [87]. Pero si los impactos de la CMP podrían estar afectando a procesos vitales del sistema Tierra, o si por el contrario están siendo absorbidos y amortiguados, y de qué manera, es una cuestión abierta. Estudios recientes [15], [16] indican que no es seguro que se cumpla esta tercera condición. Se necesitan hipótesis articuladas con precisión que puedan ponerse a prueba en futuros estudios de observación marina, experimentos y con modelos.

Una incertidumbre importante se refiere a la interrupción de las conexiones sistémicas entre los componentes físicos y vivos del sistema Tierra. En este caso, el secuestro de carbono ilustra los problemas (Fig. 3), porque el ciclo global del carbono es uno de los fundamentos biofísicos del sistema Tierra. Vincula los procesos oceánicos con la atmósfera, la biosfera y los entornos terrestres, y desempeña un papel vital en el equilibrio del sistema climático [88], [89]. Pueden

La CMP podría alterar las poblaciones marinas mediante auges o colapsos, incluida la extinción de especies clave.

preverse mecanismos en los que la CMP afecte a la capacidad de los océanos para secuestrar carbono en los principales depósitos mundiales de masas de agua profundas y sedimentos oceánicos, tanto por medios biológicos como fisicoquímicos. En consonancia con los escenarios analizados en el apartado 3.2, las consecuencias sobre el ciclo del carbono sólo serían detectables a escala mundial y tras un lapso de tiempo considerable.

Podría producirse una alteración biológica del almacenamiento de carbono a largo plazo si los procesos biológicos que constituyen la base de las funciones de los ecosistemas se vieran alterados por la presencia de plástico. La CMP podría alterar las poblaciones marinas mediante auges o colapsos, incluida la extinción de especies clave [68]. Un cambio a gran escala en los ensamblajes ecológicos podría dar lugar a un umbral en el ciclo biogeoquímico del carbono (y otros elementos nutrientes), con repercusiones en los procesos vitales del sistema Tierra.

La CMP también puede tener la capacidad de causar una perturbación mediada biofísicamente. El flujo de bolitas fecales es un componente importante de la "bomba biológica" de carbono (incluido el carbono atmosférico antropogénico) a los sedimentos oceánicos [90]. Las micropartículas de poliestireno alteran las propiedades y la velocidad de hundimiento de los gránulos fecales excretados por el zooplancton marino [54]. Por tanto, el material particulado podría interferir en el flujo de carbono y nutrientes en la columna de agua, afectando a la regulación de los flujos biogeoquímicos globales [1] y, a su vez, a las futuras cadenas tróficas.

El enterramiento físico de los materiales plásticos también puede representar un cambio en el almacenamiento de carbono a largo plazo, ya que no comparte las proporciones de elementos de la materia viva. Estimaciones recientes sobre la cantidad de residuos plásticos marinos oscilan entre 86 y 150 millones de toneladas de plástico [91]. Actualmente no se contabiliza una gran fracción del plástico que se sabe que entra en la superficie del océano [52]. Su destino final es depositarse (directamente o a través de la biota) en tierra o en el fondo marino [91].

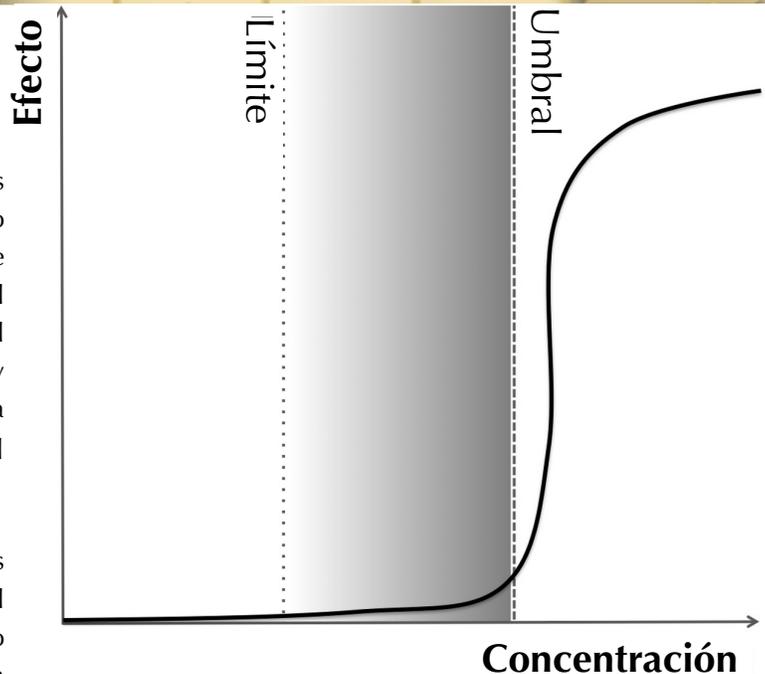


Fig. 3. Efectos perturbadores sobre los procesos del sistema Tierra (por ejemplo, la captura de carbono marino). Si es posible determinar un umbral para una función a escala planetaria (correspondiente a la vía C de la Fig. 2), el límite debería fijarse a un nivel que impida la cascada de cambios en los ecosistemas que contribuyen a ese umbral global.

4. ¿Por qué incluir los plásticos marinos en el marco de los límites planetarios?

El concepto de límites planetarios reúne en un mismo marco múltiples perturbaciones antropogénicas globales, en el discurso de la investigación y la política. Se está considerando en contextos políticos como la Asamblea General de las Naciones Unidas [92], el Séptimo Programa de Acción Europeo en materia de Medio Ambiente [93], que establece la visión de vivir bien "dentro de los límites del planeta", y las estrategias nacionales de sostenibilidad [18], [19], [20], [21]. Como marco sobre el cambio del sistema Tierra provocado por el ser humano, debería incluir los cambios más conspicuos y generalizados del mundo moderno, y este panorama actual indica que el destino medioambiental de los residuos plásticos es en efecto uno de esos cambios.

La CMP es un reto de sostenibilidad global, un claro ejemplo de la tragedia de los bienes comunes, difícil de gestionar y gobernar a escala mundial [94]. Los residuos plásticos están siendo abordados por marcos multinacionales, como los ODS [41], en concreto el Objetivo 14 "Vida bajo el agua" y los objetivos relacionados con la producción y el consumo; las resoluciones de la primera y la segunda Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente¹⁰; y los planes de acción sobre desechos marinos del G7 y el G20. También se está debatiendo la posible necesidad de un instrumento mundial, como un convenio sobre la contaminación marina por plásticos [38], [39]. Reconocer que la CMP es motivo de consternación a escala mundial puede suponer un valioso impulso político para el control de otras sustancias

¹⁰ UNEP/EA.1/10 Annex 1/6, http://www.un.org/ga/search/viewm_doc.asp?symbol=UNEP/EA.1/10 and UNEP/EA.2/Res.11 http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11186/K1607228_UNEPEA2_RES11E.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

químicas que suscitan gran consternación. Reconociendo el posible desajuste entre la percepción del riesgo y el riesgo real [11], podrían surgir beneficios ecológicos a escala mundial si se regula la liberación de plástico en el medio ambiente debido a la consternación por la salud pública humana (por ejemplo, por los efectos de plastificantes como el bisfenol A, que se ha relacionado con cánceres, trastornos endocrinos y metabólicos y alteraciones del comportamiento [95], [96]).

Introducir la CMP en el marco de los límites planetarios puede proporcionar un marco común para el desarrollo y la aplicación posteriores de estas políticas emergentes de forma que se consideren adecuadamente los efectos sistémicos

Menos del 5% de la bibliografía científica sobre la contaminación por plásticos marinos aborda las dimensiones sociales o económicas. Los envases y los bienes de consumo/domésticos representan actualmente cerca de dos tercios de la demanda total de plásticos, y los elementos desechables constituyen una gran parte.

más amplios. También puede contribuir a impulsar la mejora de la evaluación del estado y las tendencias mundiales, la vigilancia ecológica y la gestión. Para que un límite planetario de plásticos marinos/entidades novedosas sea operativo, es necesario llenar lagunas de conocimiento: falta la información básica necesaria para definir las variables de control sobre las existencias

actuales y los efectos de los desechos plásticos en el medio marino, y sus efectos sistémicos, especialmente sobre las cuestiones críticas para la sostenibilidad en el marco de los límites planetarios. Una laguna clave en la comprensión es el impacto del plástico marino en los sistemas socioecológicos vinculados. Menos del 5% de la bibliografía científica sobre la contaminación por plásticos marinos aborda las dimensiones sociales o económicas [97]. Los envases y los bienes de consumo/domésticos representan actualmente cerca de dos tercios de la demanda total de plásticos [6], y los elementos desechables constituyen una gran parte. Al mismo tiempo, existe una creciente preocupación sobre cómo los plásticos y sus aditivos podrían estar afectando a la salud humana, la seguridad alimentaria, la riqueza y el bienestar [60], [96]. Las opciones de consumo de las personas y su priorización de unas inquietudes sobre otras determinarán si la CMP empeora, aumentando el riesgo de cruzar algún umbral del sistema Tierra, o si se detiene y mitiga.

Es poco probable que el problema de los CMP haya pasado ya su peor momento. El petróleo, principal materia prima para la producción de plástico, es un recurso finito, pero si se mantienen las tasas actuales de conversión de petróleo en plástico hasta alcanzar la producción total acumulada de petróleo estimada, la cantidad final de residuos plásticos marinos podría ser 2,3 veces superior a la que ya hay en los océanos [91]. El aumento de la producción de plástico a partir de otras materias primas [6], la gran cantidad de residuos plásticos mal gestionados que llegan a los océanos [7],

La contaminación por plásticos marinos es irreversible y ubicua en todo el mundo, por lo que cumple dos de las tres condiciones esenciales propuestas para un límite planetario de contaminación química.

[74] y el impacto apenas significativo de los esfuerzos de limpieza en todo el mundo [98] indican que no existe una perspectiva de sostenibilidad sistémica global. La precaución es necesaria cuando existe una situación de ignorancia sobre los efectos perturbadores

que los contaminantes pueden tener en los procesos del sistema Tierra [24].

5. Conclusiones y recomendaciones

La contaminación por plásticos marinos es irreversible y ubicua en todo el mundo, por lo que cumple dos de las tres condiciones esenciales propuestas para un límite planetario de contaminación química [24]. Cada vez hay más pruebas sobre las consecuencias ecológicas de la contaminación por plásticos, pero sigue siendo una incógnita si la CMP también cumple la tercera condición y ha perturbado los procesos del sistema Tierra.

Las condiciones y escenarios de amenaza propuestos [24] que definen los requisitos para que un contaminante químico sea un candidato a límite planetario han tenido que ser adaptados para la CMP, donde las propiedades del plástico en fase sólida introducen una complejidad adicional en las vías químicas y los impactos ecológicos. Las condiciones (tal y como están redactadas en la Ref. [24]) están abiertas a distintas interpretaciones, sobre todo en lo que respecta a las

A medida que aumenta la concienciación pública sobre la contaminación marina por plásticos, su inclusión en el límite planetario de entidades novedosas puede ayudar a movilizar la acción que ahora se necesita urgentemente.

escalas temporales y espaciales. Las redes tróficas, los cambios en los ecosistemas y el ciclo del carbono son fenómenos complejos de escala cruzada. Así pues, aunque ya es evidente que el plástico es un problema planetario, existe una gran incertidumbre e incluso ignorancia sobre sus efectos perturbadores en el sistema Tierra. La literatura actual carece de

una visión amplia y holística de cómo los subsistemas se relacionan entre sí y con los procesos del sistema Tierra que determinan la capacidad de autorregulación de la Tierra.

A medida que se detectan más efectos de los productos fitosanitarios y, sobre todo, a medida que se hacen más evidentes sus implicaciones para el bienestar humano, empiezan a producirse respuestas a múltiples niveles y escalas. Estas van desde el activismo social a las deliberaciones en los ámbitos político y gubernamental, pasando por las

Es evidente que la contaminación por plástico marino está estrechamente entrelazada con los procesos globales hasta un punto que merece una gestión cuidadosa y precautoria.

necesarias transiciones empresariales y las innovaciones en el uso de materiales, el comercio y la gestión de residuos. A medida que aumenta la concienciación pública sobre la contaminación marina por plásticos, su inclusión en el límite planetario de entidades novedosas puede ayudar a movilizar la

acción que ahora se necesita urgentemente, en todos estos frentes -idealmente, en estrecha cooperación entre todos los actores.

Es necesario un debate transdisciplinar más profundo para determinar la base empírica de cada etapa de la vía de la amenaza planetaria, identificar los umbrales de mayor consternación e informar sobre la definición normativa de los límites. Independientemente de que el plástico marino se integre o no en el marco de los límites planetarios, es evidente que la contaminación por plástico marino está estrechamente entrelazada con los procesos globales hasta un punto que merece una gestión cuidadosa y precautoria.

Referencias:

1. W. Steffen, K. Richardson, J. Rockstrom, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. de Vries, C.A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers, S. Sorlin, Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet, *Science* 347 (2015) 1259855, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1259855>.
2. Zalasiewicz, C.N. Waters, J.A. Ivar do Sul, P.L. Corcoran, A.D. Barnosky, A. Cearreta, M. Edgeworth, A. Galuszka, C. Jeandel, R. Leinfelder, J.R. McNeill, W. Steffen, C. Summerhayes, M. Wagreich, M. Williams, A.P. Wolfe, Y. Yonan, The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene, *Anthropocene* 13 (2016) 4–17, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.002>.
3. A.L. Andrady, M. a. Neal, Applications and societal benefits of plastics, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364 (2009) 1977–1984, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>.
4. R.C. Thompson, S.H. Swan, C.J. Moore, F.S. vom Saal, Our plastic age, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364 (2009) 1973–1976, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>.
5. PlasticsEurope, The Compelling Facts About Plastics: An Analysis Of Plastics Productions, Demand and Recovery for 2006 in Europe, 2008, p. 24.
6. PlasticsEurope, Plastics—the Facts, *Plast.–Facts 2016*, 2016, [zufinden unter <www.plasticseurope.de/informations>](http://www.plasticseurope.de/informations).
7. J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, L.K. Law, R. Narayan, K.L. Law, Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science* 347 (2015) 768–771, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1260352>.
8. M.R. Gregory, Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364 (2009) 2013–2025, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>.
9. C.M. Rochman, M.A. Browne, B.S. Halpern, B.T. Hentschel, E. Hoh, H.K. Karapanagioti, R.C. Thompson, Policy: classify plastic waste as hazardous, *Nature* 494 (2013) 169–171.

10. S. Werner, A. Budzjak, J.A. Van Franeker, F. Galgani, G. Hanke, T. Maes, M. Matiddi, P. Nilsson, L. Oosterbaan, E. Priestland, R. Thompson, M. Veiga Joana, T. Vlachogianni, Harm caused by Marine Litter - European Commission, 2016. doi: <http://doi.org/10.2788/690366> .
11. C.M. Rochman, M.A. Browne, A.J. Underwood, J.A. van Franeker, R.C. Thompson, L.A. Amaral-Zettler, The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived, *Ecology* 97 (2016) 302–312, <http://dx.doi.org/10.1890/07-1861.1>.
12. UNEP, Marine Plastic Debris and Microplastics—Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2016, p. 179.
13. GESAMP, Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment., IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP, 2015, in: P.J. Kershaw (ed.), IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Rep. Stud., 2015, GESAMP No. 90, p. 96.
14. T.S. Galloway, C.N. Lewis, Marine microplastics spell big problems for future generations, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113 (2016) 2331–2333, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1600715113>.
15. A. Jahnke, H.P. Arp, B.I. Escher, B. Gewert, E. Gorokhova, D. Kühnel, M. Ogonowski, A. Potthoff, C.D. Rummel, M. Schmitt-Jansen, E. Toorman, M. MacLeod, Reducing uncertainty and confronting ignorance about the possible impacts of weathering plastic in the marine environment, *Environ. Sci. Technol. Lett.* (2017), <http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00008>.
16. T.S. Galloway, M. Cole, C. Lewis, A. Atkinson, J.I. Allen, Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem, *Nat. Ecol. Evol.* 1 (2017) 116, <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-017-0116>.
17. J. Rockström, K. Noone, Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity, *Ecol. Soc.* 14 (2009).
18. B. Nykvist, Å. Persson, F. Moberg, L. Persson, S. Cornell, J. Rockström, National Environmental Performance on Planetary Boundaries: A study for the Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre at Stockholm University, Stockholm, Sweden, 2013 <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6576-8.pdf> .
19. H. Dao, P. Peduzzi, B. Chatenoux, A. De Bono, S. Schwarzer, D. Friot, Environmental limits and Swiss footprints based on Planetary Boundaries: A study commissioned by the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), UNEP/ GRID-Geneva, Université de Genève, Shaping Environmental Action, Geneva, Switzerland. http://pb.grid.unep.ch/planetary_boundaries_switzerland_report.pdf .
20. H. Hoff, B. Nykvist, M. Carson, Living Well, within the Limits of Our Planet Measuring Europe's Growing External Footprint, Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden, 2014.
21. M.J. Cole, R.M. Bailey, M.G. New, Tracking sustainable development with a national barometer for South Africa using a downscaled "safe and just space" framework, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111 (2014) E4399–E4408, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1400985111>.
22. S. Sala, E. Saouter, Planetary boundaries and chemical pollution: a grail quest? *Chem. Int.* (2014) 2–4.
23. L.M. Persson, M. Breitholtz, I.T. Cousins, C. a. de Wit, M. MacLeod, M.S. McLachlan, Confronting unknown planetary boundary threats from chemical pollution, *Environ. Sci. Technol.* 47 (2013) 12619–12622, <http://dx.doi.org/10.1021/es402501c>.
24. M. MacLeod, M. Breitholtz, I.T. Cousins, C. a. de Wit, L.M. Persson, C. Rudén, M.S. McLachlan, Identifying chemicals that are planetary boundary threats, *Environ. Sci. Technol.* 48 (2014) 11057–11063, <http://dx.doi.org/10.1021/es501893m>.
25. M.L. Diamond, C. a. de Wit, S. Molander, M. Scheringer, T. Backhaus, R. Lohmann, R. Arvidsson, Å. Bergman, M. Hauschild, I. Holoubek, L. Persson, N. Suzuki, M. Vighi, C. Zetzsch, Exploring the planetary boundary for chemical pollution, *Environ. Int.* 78 (2015) 8–15, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.001>.
26. J.R. Clark, M. Cole, P.K. Lindeque, E. Fileman, J. Blackford, C. Lewis, T.M. Lenton, T.S. Galloway, Marine microplastic debris: a targeted plan?? For understanding and quantifying interactions with marine life, *Front. Ecol. Environ.* 14 (2016) 317–324, <http://dx.doi.org/10.1002/fee.1297>.
27. E.S.S. Committee, Earth System Sciences: A Closer View (The Bretherton Report), NASA, Washington D.C., USA, 1988.
28. M. Jacobson, R.J. Charlson, H. Rodhe, G.H. Orians, Earth System Science: From Biogeochemical Cycles Elmsford, NY" data-cke-saved-text="Please provide the place of publication in Refs. [28,84,94,95] if available." name="comments" role="MC" > to Global Changes, 1st edition, Academic Press, Cambridge, MA, USA, 2000.
29. S.E. Cornell, I.C. Prentice, J.I. House, C.J. Downy, Understanding the Earth System: Global Change Science for Application, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012.
30. C.N. Waters, J. Zalasiewicz, C. Summerhayes, A.D. Barnosky, C. Poirier, A. Galuszka, A. Cearreta, M. Edgeworth, E.C. Ellis, M. Ellis, C. Jeandel, R. Leinfelder, J.R. McNeill, D. deB Richter, W. Steffen, J. Syvitski, D. Vidas, M. Wagemich, M. Williams, A. Zhisheng, J. Grinevald, E. Odada, N. Oreskes, A.P. Wolfe, The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene, *Science* 351 (2016) aad2622, <http://dx.doi.org/10.1126/science.aad2622>.
31. W. Steffen, R. Leinfelder, J. Zalasiewicz, C.N. Waters, M. Williams, C. Summerhayes, A.D. Barnosky, A. Cearreta, P. Crutzen, M. Edgeworth, E.C. Ellis, I.J. Fairchild, A. Galuszka, J. Grinevald, A. Haywood, J. Ivar do Sul, C. Jeandel, J.R. McNeill, E. Odada, N. Oreskes, A. Revkin, D. deB. Richter, J. Syvitski, D. Vidas, M. Wagemich, S.L. Wing, A.P. Wolfe, H.J. Schellnhuber, Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene, *Earth's Future* (2016), [http://dx.doi.org/10.1002/2016EF000379\(n/a-n/a\)](http://dx.doi.org/10.1002/2016EF000379(n/a-n/a)).
32. [32] W. Kuhn, U. Luterbacher, E. Wiegandt, Pathways of Understanding: the Interactions of Humanity and Global Environmental Change, The Consortium for International Earth Science Information Network (CIESIN), University Centre–MI, USA, 1992 <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920024814.pdf> .
33. G. Palsson, B. Szerszynski, S. Sörlin, J. Marks, B. Avril, C. Crumley, H. Hackmann, P. Holm, J. Ingram, A. Kirman, M.P. Buendía, R. Weehuizen, Reconceptualizing the "Anthropos" in the Anthropocene: integrating the social sciences and humanities in global environmental change research, *Environ. Sci. Policy* 28 (2013) 3–13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.11.004>.
34. H.A. Mooney, A. Duraipapp, A. Larigauderie, Evolution of natural and social science interactions in global change research programs, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110 (2013) 3665–3672, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1107484110>.
35. M. Scheffer, S.R. Carpenter, Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation, *Trends Ecol. Evol.* 18 (2003) 648–656, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2003.09.002>.
36. C. Folke, S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson, C.S. Holling, Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35 (2004) 557–581, <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>.
37. D. Xanthos, T.R. Walker, International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): a review, *Mar. Pollut. Bull.* 118 (2017) 17–26, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>.

- 38.K. Raubenheimer, A. McIlgorm, Is the Montreal protocol a model that can help solve the global marine plastic debris problem? *Mar. Policy* 81 (2017) 322–329, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.04.014>.
- 39.N. Simon, M.L. Schulte, Stopping Global Plastic Pollution: the Case for an International Convention, 2017.
- 40.European Commission, International ocean governance: an agenda for the future of oceans, JOIN (2016) 17 (49final).
- 41.United Nations, Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1, 2015. (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?Symbol=A/RES/70/1&Lang=E) .
- 42.J. Vince, B.D. Hardesty, Plastic pollution challenges in marine and coastal environments: from local to global governance, *Restor. Ecol.* 25 (2017) 123–128, <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12388>.
- 43.L.K. Law, R.C. Thompson, Microplastics in the seas, *Science* 345 (2014) 144–145, <http://dx.doi.org/10.1002/2014EF000240/polymer>.
- 44.M. Eriksen, L.C.M. Lebreton, H.S. Carson, M. Thiel, C.J. Moore, J.C. Borerro, F. Galgani, P.G. Ryan, J. Reisser, Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea, *PLoS One* 9 (2014) e111913, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
- 45.P. Farrell, K. Nelson, Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis*(L.) to *Carcinus maenas*(L.), *Environ. Pollut.* 177 (2013) 1–3, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>.
- 46.A.M.Trevail, S. Kühn, G.W. Gabrielsen, The State of Marine Microplastic Pollution in the Arctic, (2015).
- 47.R.W. Obbard, S. Sadri, Y.Q. Wong, A.A. Khitun, I. Baker, C. Richard, Earth's future Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice Earth's future, *Earth's Future* (2014) 315–320, <http://dx.doi.org/10.1002/2014EF000240>. Abstract.
- 48.S.L. Wright, F.J. Kelly, Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* 51 (2017) 6634–6647, <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>.
- 49.J. Zalasiewicz, C.N. Waters, J.A. Ivar do Sul, P.L. Corcoran, A.D. Barnosky, A. Cearreta, M. Edgeworth, A. Gałuszka, C. Jeandel, R. Leinfelder, J.R. McNeill, W. Steffen, C. Summerhayes, M. Wagreich, M. Williams, A.P. Wolfe, Y. Yonan, J.A. Ivar, P.L. Corcoran, A.D. Barnosky, A. Cearreta, M. Edgeworth, A. Ga, C. Jeandel, R. Leinfelder, J.R. McNeill, W. Steffen, C. Summerhayes, M. Wagreich, M. Williams, A.P. Wolfe, Y. Yonan, J.A. Ivar do Sul, P.L. Corcoran, A.D. Barnosky, A. Cearreta, M. Edgeworth, A. Gałuszka, C. Jeandel, R. Leinfelder, J.R. McNeill, W. Steffen, C. Summerhayes, M. Wagreich, M. Williams, A.P. Wolfe, Y. Yonan, The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene, *Anthropocene* 13 (2016) 4–17, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.002>.
- 50.A. Cózar, F. Echevarría, J.I. González-Gordillo, X. Irigoien, B. Ubeda, S. Hernández-León, A.T. Palma, S. Navarro, J. García-de-Lomas, A. Ruiz, M.L. Fernández-de-Puelles, C.M. Duarte, Plastic debris in the open ocean, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (2014) 17–19, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1314705111>.
- 51.A. Cózar, E. Martí, C.M. Duarte, J. García-de-lomas, E. Van Sebille, T.J. Ballatore, V.M. Eguíluz, J.I. González-Gordillo, M.L. Pedrotti, The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline circulation, *Sci. Adv.* 3 (2017) 1–9.
- 52.A. Cózar, M. Sanz-Martín, E. Martí, J.I. González-Gordillo, B. Ubeda, J.Á. Gálvez, X. Irigoien, C.M. Duarte, Plastic accumulation in the Mediterranean Sea, *PLoS One* 10 (2015) e0121762, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>.
- 53.L.C. Lebreton, S.D. Greer, J.C. Borrero, Numerical modelling of floating debris in the world's oceans, *Mar. Pollut. Bull.* 64 (2012) 653–661, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.027>.
- 54.M. Cole, P.K. Lindeque, E. Fileman, J. Clark, C. Lewis, C. Halsband, T.S. Galloway, Microplastics alter the properties and sinking rates of Zooplankton Faecal pellets, *Environ. Sci. Technol.* 50 (2016) 3239–3246, <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b05905>.
- 55.C.D. Rummel, M.G.J. Löder, N.F. Fricke, T. Lang, E.-M. Griebeler, M. Janke, G. Gerdts, Plastic ingestion by pelagic and demersalfish from the North Sea and Baltic Sea, *Mar. Pollut. Bull.* 102 (2016) 134–141 (<http://10.03.248/j.marpolbul.2015.11.043>) .
- 56.[56]P. Davison, R.G. Asch, Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 432 (2011) 173 <https://ezp.sub.su.se/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjrs&AN=edsjrs.24874560&site=eds-live&scope=site>.
- 57.M. Masó, E. Garcés, F. Pagés, J. Camp, Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species, *Sci. Mar.* 67 (2007) 107–111, <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.2003.67n1107>.
- 58.P.H. Pham, J. Jung, J.S. Lumsden, B. Dixon, N.C. Bols, The potential of waste items in aquatic environments to act as fomites for viral haemorrhagic septicaemia virus, *J. Fish. Dis.* 35 (2012) 73–77, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01323.x>.
- 59.E.R. Zettler, T.J. Mincer, L.A. Amaral-Zettler, Life in the "Plastisphere": microbial communities on plastic marine debris, *Environ. Sci. Technol.* 47 (2013) 7137.
- 60.S.C. Gall, R.C. Thompson, The impact of debris on marine life, *Mar. Pollut. Bull.* 92 (2015) 170–179, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>.
- 61.H. Hirai, H. Takada, Y. Ogata, R. Yamashita, K. Mizukawa, M. Saha, C. Kwan, C. Moore, H. Gray, D. Laursen, E.R. Zettler, J.W. Farrington, C.M. Reddy, E.E. Peacock, M.W. Ward, Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches, *Mar. Pollut. Bull.* 62 (2011) 1683–1692, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.004>.
- 62.C.M. Rochman, E. Hoh, B.T. Hentschel, S. Kaye, Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris, *Environ. Sci. Technol.* 47 (2013) 1646–1654, <http://dx.doi.org/10.1021/es303700s>.
- 64.A.L. Andrady, Persistence of Plastic Litter in the Oceans, (2015), pp. 57–72, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3>.
- 65.UNEP and GRID-Arendal. Marine Litter Vital Graphics. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal, 2016. (www.unep.org, www.grida.no).
- 66.J. Boucher, D. Friot, Primary Microplastics in the Oceans, Gland, Switzerland, 2017. (<https://portals.iucn.org/library/node/46622>) .
- 67.F. Salvador Cesa, A. Turra, J. Barauque-Ramos, Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings, *Sci. Total Environ.* 598 (2017) 1116–1129, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.179>.
- 68.A.D. Barnosky, E.A. Hadly, J. Bascompte, E.L. Berlow, J.H. Brown, M. Fortelius, W.M. Getz, J. Harte, A. Hastings, P.A. Marquet, N.D. Martinez, A. Mooers, P. Roopnarine, G. Vermeij, J.W. Williams, R. Gillespie, J. Kitzes, C. Marshall, N. Matzke, D.P. Mindell, E. Revilla, A.B. Smith, Approaching a state shift in Earth's biosphere, *Nature* 486 (2012) 52–58, <http://dx.doi.org/10.1038/nature11018>.
- 69.J.A. Dearing, R. Wang, K. Zhang, J.G. Dyke, H. Haberl, M.S. Hossain, P.G. Langdon, T.M. Lenton, K. Raworth, S. Brown, J. Carstensen, M.J. Cole, S.E. Cornell, T.P. Dawson, C.P. Doncaster, F. Eigenbrod, M. Flörke, E. Jeffers, A.W. Mackay, B. Nykvist, G.M. Poppy, Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems, *Glob. Environ. Change* 28 (2014) 227–238, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012>.
- 70.G.M. Mace, B. Reyers, R. Alkemade, R. Biggs, F.S. Chapin, S.E. Cornell, S. Díaz, S. Jennings, P. Leadley, P.J. Mumby, A. Purvis, R.J. Scholes, A.W.R. Seddon, M. Solan, W. Steffen, G. Woodward, Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity, *Glob. Environ. Change* 28 (2014) 289–297, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.009>.

71. T. Häyhä, P.L. Lucas, D.P. van Vuuren, S.E. Cornell, H. Hoff, From planetary boundaries to national fair shares of the global safe operating space - how can the scales be bridged? *Glob. Environ. Change* (2016).
72. D.P. van Vuuren, P.L. Lucas, T. Häyhä, S.E. Cornell, M. Stafford-Smith, Horses for courses: analytical tools to explore planetary boundaries, *Earth Syst. Dyn. Discuss.* 6 (2015) 1711–1741, <http://dx.doi.org/10.5194/esdd-6-1711-2015>.
73. S.L. Lewis, We must set planetary boundaries wisely, *Nature* 485 (2012) 417 <http://search.proquest.com/openview71d4c8c808517b6ac7ce5fb26bbb8f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40569> .
74. B.F. Jönsson, J.R. Watson, B.F. Jo, The timescales of global surface-ocean connectivity, *Nat. Commun.* 7 (2016) 11239, <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms11239>.
75. O. Setälä, V. Fleming-Lehtinen, M. Lehtiniemi, Ingestion and transfer of micro-plastics in the planktonic food web, *Environ. Pollut.* 185 (2014) 77–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>.
76. L. Van Cauwenberghe, C.R. Janssen, Microplastics in bivalves cultured for human consumption, *Environ. Pollut.* 193 (2014) 65–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>.
77. A.A. Koelmans, A. Bakir, G.A. Burton, C.R. Janssen, Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported re-interpretation of empirical studies, *Environ. Sci. Technol.* 50 (2016) 3315–3326, <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>.
78. C.M. Rochman, R.L. Lewison, M. Eriksen, H. Allen, A.-M. Cook, S.J. Teh, Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats, *Sci. Total Environ.* 476–477 (2014) 622–633, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.058>.
79. E.L. Teuten, J.M. Saquing, D.R.U. Knappe, M. a. Barlas, S. Jonsson, A. Björn, S.J. Rowland, R.C. Thompson, T.S. Galloway, R. Yamashita, D. Ochi, Y. Watanuki, C. Moore, P.H. Viet, T.S. Tana, M. Prudente, R. Boonyatumanond, M.P. Zakaria, K. Akkhavong, Y. Ogata, H. Hirai, S. Iwasa, K. Mizukawa, Y. Hagino, A. Imamura, M. Saha, H. Takada, Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 364 (2009) 2027–2045, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>.
80. R. Sussarellu, M. Suquet, Y. Thomas, C. Lambert, C. Fabioux, M. Eve, J. Pernet, Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics, *PNAS* (2015) 1–6, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1519019113>.
81. M. Cole, P. Lindeque, E. Fileman, C. Halsband, T.S. Galloway, The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*, *Environ. Sci. Technol.* 49 (2015) 1130–1137, <http://dx.doi.org/10.1021/es504525u>.
82. T. Romeo, C. Pedà, M.C. Fossi, F. Andaloro, P. Battaglia, First record of plastic debris in the stomach of Mediterranean lanternfishes, *Acta Adriat.* 57 (2016) 115–124.
83. H.S. Carson, S.L. Colbert, M.J. Kaylor, K.J. McDermid, Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments, *Mar. Pollut. Bull.* 62 (2011) 1708–1713, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.032>.
84. M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages, *Marine Anthropogenic Litter*, Springer International Publishing, Heidelberg New York Dordrecht London, 2015.
85. C.L. Yntema, N. Mrosovsky, Critical periods and pivotal temperatures for sexual differentiation in loggerhead sea turtles, *Can. J. Zool.* 60 (1982) 1012–1016.
86. T. Andersen, J. Carstensen, E. Hernández-García, C.M. Duarte, Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification, *Trends Ecol. Evol.* 24 (2017) 49–57, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.014>.
87. M. Williams, J. Zalasiewicz, P.K. Haff, C. Schwägerl, A.D. Barnosky, E.C. Ellis, The Anthropocene biosphere, *Anthr. Rev.* 2 (2015) 196–219, <http://dx.doi.org/10.1177/2053019615591020>.
88. D. Archer, *The Global Carbon Cycle*, Princeton University Press, Princeton NJ, USA, 2010.
89. P. Ciais, C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, others, Carbon and other biogeochemical cycles, in: *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.*, Cambridge University Press, 2014, pp. 465–570. http://pubman.mpdl.mpg.de/pubman/item/escidoc:2058766/component/escidoc:2058768WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf .
90. J.T. Turner, Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms, *Aquat. Microb. Ecol.* 27 (2002) 57–102, <http://dx.doi.org/10.3354/Ame027057>.
91. Y.C. Jang, J. Lee, S.Y. Hong, H.W. Choi, W.J. Shim, S.Y. Hong, Estimating the global inflow and stock of plastic marine debris using materialflow analysis: a preliminary approach, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy* 18 (2015) 263–273, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3>.
92. T. Elmqvist, S. Cornell, M.C. Öhman, T. Daw, F. Moberg, A. Norström, Å. Persson, G. Peterson, J. Rockström, M. Schultz, E.H. Török, V. Galaz, C. Ituarte-Lima, *Global Sustainability and Human Prosperity: Contribution to the Post-2015 Agenda and the Development of Sustainable Development Goals*, Nordic Council of Ministers, Stockholm, Sweden, 2014 http://norden.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A714418&dsid=gtm_autoEvent_1502809585491#sthash.qLA0Vzrr.dpbs .
93. European Commission, Living well, within the limits of our planet, 7th EAP—the New General Union Environment Action Programme to 2020, 2013. <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/en.pdf> .
94. S. Freinkel, *Plastic: A Toxic Love Story*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston, MA, 2011.
95. F.S. vom Saal, B.T. Akingbemi, S.M. Belcher, D.A. Crain, M. Eriksen, F. Farabolini, P.A. Hunt, M. Marcus, Chapel Hill Bisphenol A Expert Panel Consensus Statement: Integration of Mechanisms, Effects in Animals and Potential to Impact Human Health at Current Levels of Exposure 24 Elsevier, Elmsford, NY, 2007, pp. 131–138, <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.07.005>.Chapel.
96. T.S. Galloway, Micro- and nano-plastic and human health, *Mar. Anthropog. Litter* (2015), <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3>.
97. A.C. Vegter, M. Barletta, C. Beck, J. Borrero, H. Burton, M.L. Campbell, M.F. Costa, M. Eriksen, C. Eriksson, A. Estrades, K.V.K. Gilardi, B.D. Hardesty, J.A.I. Sul, J.L. Lavers, B. Lazar, L. Lebreton, W.J. Nichols, C.A. Ribic, P.G. Ryan, Q.A. Schuyler, S.D.A. Smith, H. Takada, K.A. Townsend, C.C.C. Wabnitz, C. Wilcox, L.C. Young, M. Hamann, J.A. Ivar do Sul, J.L. Lavers, B. Lazar, L. Lebreton, W.J. Nichols, C.A. Ribic, P.G. Ryan, Q.A. Schuyler, S.D.A. Smith, H. Takada, K.A. Townsend, C.C.C. Wabnitz, C. Wilcox, L.C. Young, M. Hamann, Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife, *Endanger. Species Res.* 25 (2014) 225–247, <http://dx.doi.org/10.3354/esr00623>.
98. NOAA, Interagency report on marine debris sources, impacts, strategies & recommendations, *Natl. Ocean. Atmos. Adm.* (2008) 62.
99. M. Tomczak, Defining marine pollution, *Mar. Policy* 8 (1984) 311–322, [http://dx.doi.org/10.1016/0308-597X\(84\)90023-X](http://dx.doi.org/10.1016/0308-597X(84)90023-X).

Vínculos relacionados:

- La Alianza Global Jus Semper
- Linn Persson et al: [Fuera del Espacio Operativo Seguro del Límite Planetario para Entidades Noveles](#)
- Ulrich Brand: [De los Límites Planetarios a los Límites Sociales: un argumento a favor de la auto limitación definida colectivamente](#)
- Will Steffen et al: [Trayectorias del Sistema Tierra en el Antropoceno](#)
- Johan Rockström et al: [Identificando un Pasaje Seguro y Justo para las Personas y el Planeta](#)
- Jason Hickel: [El Decrecimiento es una Cuestión de Justicia Global](#)
- Álvaro de Regil Castilla: [La Insoportable Falta de Conciencia de Nuestra Crisis Ecológica Existencial](#)
- Álvaro de Regil Castilla: [Transitando a Geocracia Paradigma de la Gente y el Planeta y No el Mercado — Primeros Pasos](#)
- William F. Lamb y Julia K. Steinberger: [Bienestar humano y mitigación del cambio climático](#)



- ❖ **Acerca de Jus Semper:** La Alianza Global Jus Semper aspira a contribuir a alcanzar un etos sostenible de justicia social en el mundo, donde todas las comunidades vivan en ámbitos verdaderamente democráticos que brinden el pleno disfrute de los derechos humanos y de normas de vida sostenibles conforme a la dignidad humana. Para ello, coadyuva a la liberalización de las instituciones democráticas de la sociedad que han sido secuestradas por los dueños del mercado. Con ese propósito, se dedica a la investigación y análisis para provocar la toma de conciencia y el pensamiento crítico que generen las ideas para la visión transformadora que dé forma al paradigma verdaderamente democrático y sostenible de la Gente y el Planeta y NO del mercado.
- ❖ **Acerca de los autores:** **Patricia Villarrubia-Gómez** a, **Sarah E. Cornell** a, **Joan Fabres** b: a: Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, SE-106 91 Stockholm, Sweden; b GRID-Arendal, Teaterplassen 3, 4836 Arendal, Norway
- ❖ **Acerca de este trabajo:** "La Contaminación por Plásticos Marinos como Amenaza a los Límites Planetarios - La pieza a la deriva en el rompecabezas de la sostenibilidad" fue publicado originalmente en inglés por Elsevier, Marine Policy en septiembre de 2018. Este trabajo ha sido publicado bajo Creative Commons, CC BY-NC-ND 4.0: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional. Usted es bienvenido a compartir - copiar y distribuir el material en cualquier medio o formato en forma no adaptada y sólo para fines no comerciales. Autor correspondiente. Correo electrónico address: patricia.villarrubia@su.se (P. Villarrubia-Gómez). **Agradecimientos:** Damos las gracias a Matthew MacLeod y Michael McLachlan por sus útiles discusiones en el desarrollo de las ideas de este trabajo, y a los revisores anónimos por sus útiles comentarios. Las contribuciones de S.C. y P.V.G. han sido parcialmente financiadas por el Consejo Sueco de Investigación Formas (subvención n.º 2012-742). P.V.G. desea reconocer que este documento se basa en la investigación realizada para una tesis de maestría en el Centro de Resiliencia de Estocolmo de la Universidad de Estocolmo, titulada "La contaminación por plásticos marinos como nueva entidad en el marco de los límites planetarios" (2016). GRID-Arendal agradece el apoyo recibido de los Ministerios noruegos de Asuntos Exteriores y de Clima y Medio Ambiente para desarrollar nuestro trabajo sobre la contaminación plástica marina. El trabajo se llevó a cabo en SRC y GRID-Arendal. **Financiación:** Las contribuciones de S.C. y P.V. contaron con el apoyo parcial del Consejo Sueco de Investigación Formas (Subvención n.º 2012-742). **Contribuciones de los autores:** PV llevó a cabo la mayor parte del análisis. SC y JF co-supervisaron el desarrollo del trabajo, y contribuyeron con contenidos sobre la ciencia del cambio global y la política medioambiental. Todos coescribieron el manuscrito.
- ❖ **Cite este trabajo como:** Patricia Villarrubia-Gómez, Sarah E. Cornell, Joan Fabres — La Contaminación por Plásticos Marinos como Amenaza a los Límites Planetarios - La pieza a la deriva en el rompecabezas de la sostenibilidad – La Alianza Global Jus Semper, diciembre de 2023.
- ❖ **Etiquetas:** Capitalismo, Democracia, Plástico marino, Contaminación, Basuras marinas, Límites planetarios, Microplásticos, Procesos del sistema Tierra, Gobernanza del sistema Tierra, Resiliencia de la Tierra.
- ❖ La responsabilidad por las opiniones expresadas en los trabajos firmados descansa exclusivamente en su(s) autor(es), y su publicación no representa un respaldo por parte de La Alianza Global Jus Semper a dichas opiniones.



Bajo licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

© 2023. La Alianza Global Jus Semper
Portal en red: https://www.jussemper.org/Inicio/Index_castellano.html
Correo-e: informa@jussemper.org