



LA MAR DE PLÁSTICO

Ignacio Fernández Bayo
Divulga

Mercedes Jiménez
Divulga

Resumen

La presencia de residuos plásticos en el mar, especialmente de los llamados microplásticos, que pueden pasar a la cadena trófica, se ha convertido en una de las principales fuentes de preocupación sobre el estado de los mares debido a su enorme potencial de impacto ambiental, tanto sobre la calidad de las aguas como de sus efectos en las especies que habitan los océanos.

Abstract

Marine plastic waste, especially so-called microplastics, which can find their way into the food chain, has become one of the main sources of concern about the state of the seas, on account of its potentially huge environmental impact, both in terms of water quality and in terms of its effects on the species that inhabit the oceans.

1. Introducción

El término plásticos identifica un conjunto de materiales artificiales, generados por síntesis química a partir del petróleo fundamentalmente, que están presentes en casi todo cuanto nos rodea. Se trata de un término impreciso, ya que originalmente solo se refiere a uno de los dos tipos principales de estos materiales; a saber: los termoplásticos y los termoestables, según sean susceptibles de ser remodelados por calentamiento o no. Se puede incluir un tercer tipo, los elastómeros, o gomas, que se caracterizan por su elasticidad y su escasa resistencia ante el calor, que destruye su estructura, muchos de los cuales son de origen natural, como el caucho, procesados y/o mezclados con sustancias sintéticas. Es más apropiado, por ello, hablar de polímeros, aunque en este texto utilizaremos de forma preferente el de plásticos, dado que es el más común y comprensible e incluye la mayor parte de su producción.

Los polímeros son macromoléculas orgánicas formadas por la repetición indefinida de otras moléculas más sencillas, denominadas monómeros, engarzadas como eslabones de una cadena (ya sea lineal, ya tridimensional), tan extensa como se desee, mediante un proceso denominado polimerización.

Aunque apenas han cumplido un siglo, estos materiales ofrecen cualidades tan competitivas que se han convertido en los más omnipresentes del mundo actual. Los plásticos son ligeros, moldeables, resistentes al estrés mecánico, a la presión y a los productos químicos; pueden adoptar cualquier forma y tamaño que se desee; son aislantes eléctricos, aunque pueden modificarse para que sean conductores o semiconductores; pueden ser, a voluntad, transparentes, translúcidos u opacos; son idóneos para cumplir funciones estructurales y también funcionales; y son muy duraderos, casi eternos.

Esas cualidades explican que se encuentren ya en prácticamente todos los objetos que nos rodean: la ropa; el móvil; los muebles; los electrodomésticos; los envases de comidas, bebidas y todo tipo de productos; las tarjetas con que pagamos; los fármacos que nos curan; el coche en el que nos trasladamos y la casa en que vivimos. Si por un cataclismo o un hechizo mágico desapareciera el plástico de nuestro entorno todo a nuestro alrededor se desmoronaría, nos quedaríamos desnudos, se derrumbarían las casas, desaparecerían herramientas y dispositivos, los vehículos se convertirían en montones de chatarra, caerían los aviones, los cables eléctricos se desnudarían y provocarían incendios por todas partes, etcétera. Sería una catástrofe sin parangón.

Es indiscutible que los plásticos han cambiado nuestras vidas, en algunos casos con aplicaciones en las que sería complicado sustituirlos de forma igual de eficiente, pero también se han convertido en una pesadilla para el medioambiente y un riesgo para la salud. En los últimos años han saltado las alarmas por la nefasta gestión que tradicionalmente se ha hecho de ellos cuando se convertían en desechos. Dada la durabilidad de los polímeros, ya que muchos de ellos tardan siglos en degradarse, su acumulación se ha convertido en un grave problema. A través del aire o del agua de los ríos, los restos plásticos tirados de forma incontrolada acaban, antes o después, llegando al mar, donde se acumulan y se van troceando por causas mecánicas o por fotodegradación por los rayos ultravioleta solares, hasta adquirir tamaños minúsculos, lo que se denomina microplásticos, que acaban siendo ingeridos por los animales y se incorporan a la cadena trófica.

Aunque ya existían polímeros obtenidos del caucho y de la celulosa con anterioridad, se suele considerar el punto de partida de los plásticos la síntesis de la baquelita, un material termoestable, por el belga Leo Baekeland (cuyo apellido dio nombre al nuevo material) en 1907, ya que fue el primero completamente sintético. La mayor parte de los demás plásticos tardaron aún dos décadas en empezar a aparecer. En el caso de las fibras sintéticas, la pionera fue el nylon, sintetizado por primera vez en 1933, aunque no se patentó hasta 1938. Actualmente se suelen clasificar todos los polímeros en 7 categorías, 6 de las cuales definen los polímeros más frecuentes y una séptima que reúne los restantes, de menor utilización:






















- a) Polietileno tereftalato (PET)
- b) Polietileno de alta densidad (PEAD)
- c) Policloruro de vinilo (PVC)
- d) Polietileno de baja densidad (PEBD)
- e) Polipropileno (PP)
- f) Poliestireno (del que se conocen cuatro tipos diferentes)
- g) Otros plásticos

El número es el mismo que se utiliza para identificarlos en envases y otros usos para indicar su correcto reciclado.

Los primeros pasos de estos nuevos materiales fueron lentos y en 1950 la producción mundial era de tan solo 1,5 millones de toneladas. Desde entonces fue aumentando rápidamente dando respuesta a una demanda creciente de productos manufacturados y embalajes para contener o proteger alimentos y productos. Esto fue acompañado por una creciente diversificación de tipos y aplicaciones de los polímeros sintéticos en construcción, industria automovilística, electrónica y agricultura, entre otros. En la actualidad la producción mundial se acerca o supera los 350 millones de toneladas anuales (335 millones en 2016, según *PlasticsEurope*); es decir, se ha multiplicado por 230 en 70 años. Y a pesar de la encrucijada en la que se encuentra por razones ambientales, mantiene un ritmo de crecimiento del 4 % anual.

Europa genera unos 60 millones de toneladas (según datos de *PlasticsEurope* de 2016) y la distribución de la demanda está encabezada por Alemania (24,5 %), Italia (14,2 %), Francia (9,6 %), España (7,7 %) y Reino Unido (7,5 %). En 2016, se recogieron 27,1 millones de toneladas de plásticos en Europa, de los cuales el 31,1 % se recicló para generar nuevos materiales, el 27,3 % se depositó en vertederos controlados y el 41,6 % se incineró para generar energía.

Figura 1. Tipos de plástico, usos y reciclados

Principales aplicaciones		Reciclado	
 PET Polietileno tereftalato	 <p>Envases, botellas, bandejas, monofilamentos, refuerzos para neumáticos y cintas de video y audio.</p>	 <p>Botellas, fibras textiles, lonas, velas, alfombras, juguetes y cuerdas.</p>	
 PEAD Polietileno de alta densidad	 <p>Bolsas, cajones, cañerías, tapas y juguetes.</p>	 <p>Bolsas de basura, grandes envases, cañerías y mobiliario urbano.</p>	
 PVC Policloruro de vinilo	 <p>Cañerías, tarjetas de crédito, productos médicos, marcos de ventana, aislantes, juguetes y botellas.</p>	 <p>Cañerías de riego, protección de cables muebles de jardín, suelas de calzado y otros artículos para el hogar.</p>	
 PEBD Polietileno de baja densidad	 <p>Películas para envases, bolsas, cañerías y aislamiento de cables.</p>	 <p>Bolsas de basura, cañerías, mobiliario urbano, membranas aislantes de la humedad y macetas.</p>	
 PP Polipropileno	 <p>Bolsas de productos alimenticios, contenedores, baterías, jeringuillas, muebles y rafia.</p>	 <p>Contenedores, cubos, escobas, mobiliario urbano y monofilamentos.</p>	
 PS Poliestireno	 <p>Bandejas de productos alimenticios, envases, platos, juguetes y aislantes</p>	 <p>Accesorios de oficina artículos de papelería, bandejas, marcos de fotos, perchas y macetas.</p>	
 Otros PA, ABS, SAN, acrílico, PC y otros	 <p>Accesorios de automóvil, electrodomésticos piezas industriales, colchones electrónica y construcción.</p>	 <p>Productos inyectados (a partir de poliamidas), reciclado químico e instalaciones eléctricas (a partir de policarbonatos).</p>	

Fuente: ECOPLAS.

2. El gran sumidero marino

Se calcula que entre 8 y 12 millones de toneladas de residuos plásticos se vierten cada año en el medioambiente de forma incontrolada y acaban llegando al mar, transportados por el viento o por los ríos. Y allí permanecen dado que su degradación es muy lenta. Pero no se están quietos. El movimiento de los plásticos es complejo y está impulsado por muchos factores, incluidos los vientos, la flotabilidad, el tipo de polímero, el tamaño y forma, las corrientes locales y de gran escala y la acción de las olas. Además, se distribuyen en cinco compartimentos en continuo intercambio: la superficie, la columna de agua, el fondo marino, la costa y la biota. Comprender los flujos y puntos calientes de la distribución requiere comprender el movimiento entre estos compartimentos. Los procesos físicos, químicos y biológicos que actúan sobre los plásticos y microplásticos dentro de cada reservorio o compartimento son diferentes y en la mayoría de los casos están mal cuantificados.

El transporte a larga distancia de plásticos flotantes se produce mediante una combinación de circulación oceánica y vientos. La circulación en la superficie ha sido bien definida en términos de los patrones generales de circulación y las tasas de transporte relativas. Una característica de las principales cuencas oceánicas (Pacífico norte, Pacífico sur, Atlántico norte, Atlántico sur e Índico) es la formación de giros subtropicales, regiones de corrientes más lentas donde el material tiende a acumularse y permanecer durante algún tiempo.

A mediados de los años 80 del pasado siglo llegaron las primeras noticias sobre una zona del Pacífico norte donde se acumulaban elevadas densidades de estos desechos plásticos, pero hasta principios de este siglo no se empezó a estudiar el fenómeno. La acumulación se produce por ser la zona interna del sistema de corrientes marinas que forman un círculo ascendiendo desde las costas de Asia oriental hasta latitudes polares y de ahí descienden por la costa occidental de América hasta latitudes tropicales donde giran para volver a Asia.

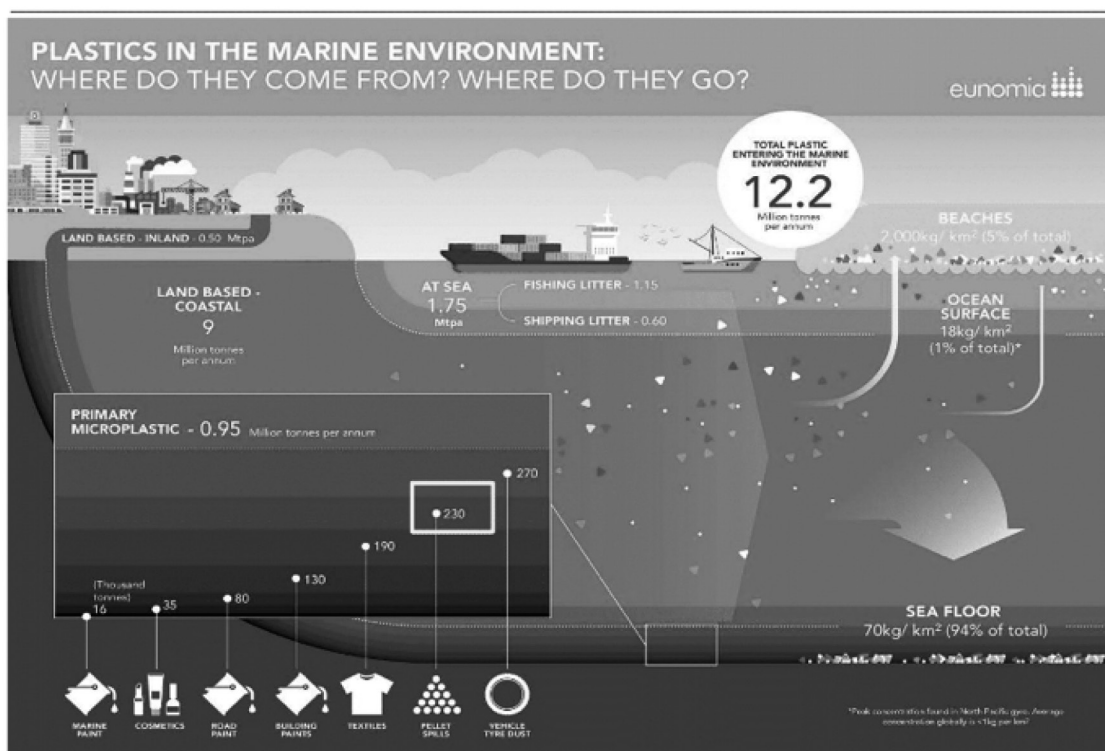
Se calcula que actualmente la llamada *isla de plástico* del Pacífico norte (también llamada *sopa de plástico* porque está formada sobre todo por fragmentos pequeños) ocupa unos 3,5 millones de kilómetros cuadrados (según diversas fuentes, entre 700.000 y 17 millones, dependiendo de la densidad mínima considerada) y contiene 100 millones de toneladas de residuos. Con posterioridad, se han descubierto islas semejantes, aunque mucho más pequeñas, en el Atlántico norte y en el Pacífico sur. El gigantesco tamaño de la original se debe a que recibe las gigantescas aportaciones de las dos cuencas que limitan el Pacífico, Asia y América occidental. Solo China produce el 29 % de todo el plástico mundial y junto con otros países de Asia oriental alcanza el 50 % del total. No es de extrañar que el 95 % de los desechos plásticos mundiales que llegan al mar procedan de tan solo 10 ríos, según un estudio de *Helmholtz-Centre for Environmental Research* de Alemania, de los cuales ocho de ellos se encuentran en Asia y seis vierten al Pacífico.

Los plásticos que acaban en el mar son de muy variada procedencia. Se calcula que el 40 % de la producción se dedica al envasado, mayoritariamente de alimentos y bebidas y contene-

dores de comida rápida, usados a menudo por consumidores que están lejos de sus hogares, donde la eliminación de desechos es difícil de gestionar, como ocurre con las playas. Estos artículos se encuentran frecuentemente como basura marina, según OSPAR, la *Convención para la protección del medioambiente marino del Atlántico Este-Norte*. También se han encontrado residuos de plástico procedente de la práctica agrícola, como tuberías de riego, contenedores de siembra, mallas y láminas protectoras y también gránulos de polímeros sintéticos en los que se dispensan productos fitosanitarios y fertilizantes para garantizar una liberación controlada.

Microplastics in the marine environment worldwide

PlasticsEurope
Association of Plastics Manufacturers



Source: Eunomia, Plastics in the marine environment

14

El turismo costero, con gran variedad de actividades e instalaciones involucradas, hoteles, centros comerciales, complejos turísticos, restaurantes, puertos, puertos deportivos, lugares de pesca y buceo etc. ha sido reconocido como una fuente importante de desechos plásticos, muy a menudo por la basura arrojada deliberada o accidentalmente en la misma costa. Por su parte, la construcción y los productos electrónicos representan una fuente de plásticos terrestres cuya presencia en el mar depende de la eficacia de la gestión de los residuos sólidos, muy variable localmente.

Desde las actividades desarrolladas en el mar también provienen residuos plásticos, los aparejos de pesca, cuerdas, redes, flotadores, línea de pesca, artículos auxiliares (por ejemplo,

guantes, cajas de pescado, bandas de correas), desechos de embarcaciones. Se abandonan, se pierden ya sea por accidente o deliberadamente, o se desechan y probablemente representan la categoría más grande en términos de volumen e impacto potencial de todas las fuentes marinas.

La acuicultura de base marina (costera) utiliza líneas, jaulas o redes suspendidas de estructuras flotantes, que a menudo consisten en plásticos (boyas rellenas de aire) y poliestireno expandido. Estas estructuras también requieren muchas líneas (en su mayoría plásticos no flotantes) y jaulas de varios tipos (plásticos de red de filamentos delgados y gruesos, flotantes o no flotantes). Las estructuras de acuicultura se pierden debido al desgaste de las cuerdas de anclaje, a las tormentas y a los accidentes y conflictos con otros usuarios marítimos. Las condiciones climáticas severas pueden causar daños generalizados en las estructuras de la acuicultura, a veces generando grandes cantidades de desechos marinos.

3. El mar más contaminado

El Mediterráneo queda lejos de la gigantesca sopa de plástico del Pacífico, pero a su escala sufre una mayor cuota de contaminación y de hecho está considerado como el mar más contaminado de la Tierra. Según Greenpeace, la densidad media de plásticos en el Mediterráneo es de un fragmento por cada 4 metros cuadrados, la más alta del mundo, y el peso total de los plásticos que alberga alcanza las 30.000 toneladas. El informe de la organización ecologista señala también que el porcentaje de plásticos sobre el total de residuos es del 95 %, muy superior a la media mundial, situada entre el 60 y el 80 %.

Según un estudio dado a conocer en 2019, realizado por Orb Media, un grupo de profesionales dedicados al periodismo de investigación, que analizó el contenido de plásticos en el agua embotellada y de grifo de nueve países europeos, en España se encontraron cantidades muy elevadas, en torno a 40 partículas de micro o nanoplástico por galón (3,78 litros). Según los autores del estudio eso supone que España vierte diariamente, por este concepto, 126 toneladas de plástico al Mediterráneo, cifra solo superada por Turquía entre los países analizados.

Las causas son bien conocidas: el intenso tráfico marino (37 % del total mundial), la actividad industrial de los países ribereños, la cantidad de población que habita en sus costas (427 millones de habitantes, el 7 % del planeta) y la intensa afluencia turística, que supone una cuarta parte del total mundial.

El *Mare Nostrum* tiene un problema añadido y es su carácter de mar casi cerrado, ya que solo realiza un intercambio de aguas muy restringido con el Atlántico, a través del estrecho de Gibraltar, y de forma mucho menor aún por el canal de Suez, lo que provoca que su contaminación se concentre y no se disperse. En su zona occidental, la plataforma continental es muy estrecha, con cañones submarinos que se extienden desde cerca de la costa hasta aguas profundas y cumplen con la función de canalizar los desechos depositados en las aguas costeras, bien directamente o bien a través de las entradas de los ríos. Esto genera importantes *puntos*

calientes de acumulación de plásticos, tanto en los propios cañones como en el fondo marino profundo. De hecho, en mayo de 2019 se publicó un estudio en *Scientific Reports*, realizado por un grupo de investigación italiano, dando cuenta de la mayor concentración mundial conocida de basuras en aguas profundas, localizada en el fondo del estrecho de Mesina, entre Sicilia y la península italiana.

Pero se desconoce si estos *puntos calientes* locales actúan como fuentes para el transporte a distancias más largas o zonas de acumulación más permanentes. Se ha observado, no obstante, que en algunos casos las concentraciones más altas se deben a la presencia de vertederos de residuos mal controlados o ilegales, a veces inmediatamente adyacentes a la costa.

Se han realizado modelizaciones para investigar la contribución relativa de plásticos flotantes según la densidad de población costera, la proporción de cuencas urbanizadas (es decir, susceptibles de escorrentía más rápida) y la densidad de envío, simulando la distribución resultante de plásticos en aguas costeras y de mar abierto utilizando un modelo de circulación oceánica, en el que se podrían introducir partículas en proporción a estos tres indicadores. Las concentraciones más altas se produjeron en el sudeste asiático, alrededor de la península de Corea, la bahía de Bengala y el Mediterráneo, resultados que concuerdan de forma bastante aproximada con las observaciones disponibles. No dejan de ser modelos pero pueden resultar de utilidad a pesar de no tener en cuenta factores importantes, como los plásticos no flotantes, la fragmentación, el transporte vertical al fondo marino, los reservorios ambientales (biota, lecho marino, columna de agua, litoral), las fuentes marinas de desechos debidos a la pesca y la acuicultura, y las fuentes terrestres, como el turismo costero.

Los efectos de los plásticos sobre la fauna marina, peces, tortugas, mamíferos y aves, está muy documentada. El enredo con desechos flotantes procedentes de las artes de pesca es un problema frecuente que afecta a todas las poblaciones marinas en diferentes grados, conduciendo a lesiones agudas y crónicas o muerte. Un estudio asegura que el 50 % de las ballenas jorobadas en aguas de EEUU muestran cicatrices por enredos. También las tortugas sufren con frecuencia estos episodios de enredos con los plásticos que agrupan latas de bebida.

Pero el principal problema es la ingesta de plásticos. Numerosos cetáceos varados en playas tenían grandes cantidades de ellos en sus estómagos, como han registrado con frecuencia los medios de comunicación. En noviembre de 2018 se encontraron un millar de objetos de plástico en el estómago de una ballena muerta en las costas de Indonesia. Otra aparecida en febrero de 2018 en la costa murciana tenía 29 kilos de plástico en su aparato digestivo. Ese mismo año, el Instituto de Sanidad Animal de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria publicó en *Environmental Pollution* los resultados de 475 necropsias realizadas entre 2000 y 2015 a cetáceos varados en costas canarias, en 36 de los cuales se encontraron restos de basura (bolsas, tapones, cuerdas, cables, redes e incluso ropa) en sus estómagos. Según los investigadores, al menos 13 de los animales murieron a consecuencia de los plásticos ingeridos.

Es difícil extrapolar a las poblaciones de animales marinos los datos obtenidos a partir de estos casos, ya que suponen una muestra poco representativa y no permite determinar el

número de individuos afectados, pero el problema se ha detectado también en otros animales. Se tiene constancia documentada de numerosos ejemplos de ingestión por tortugas bobas en el Adriático y Mediterráneo occidental, en las Azores y en la Isla de la Reunión. Las aves marinas parecen ser particularmente susceptibles al confundir los plásticos con sus presas naturales. La mayoría de los pollos de albatros muertos y analizados en el océano Pacífico contenían plásticos (encendedores, juguetes y artes de pesca) en sus entrañas. La detección en ejemplares de fulmar boreal es tan frecuente que ha sido adoptado como un indicador fiable de contaminación plástica por la *Convención para la protección del medioambiente marino del Atlántico Este-Norte* (OSPAR).

Pese a todo, los impactos a nivel poblacional son muy difíciles de evaluar. Una revisión encargada por el Panel Científico Técnico y Asesor del Foro para el Medioambiente Mundial, en colaboración con la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, concluyó en 2012 que 663 especies se habían enredado o habían ingerido residuos plásticos, un aumento del 40 % respecto a la estimación anterior, de 1997. También se han detectado daños en arrecifes de coral, especialmente los tropicales poco profundos, y en los manglares, donde la basura marina tiende a acumularse.

4. El tamaño importa: microplásticos

Más allá de las grandes concentraciones de plásticos marinos y de episodios llamativos, como los descritos, la gran preocupación procede de esos trozos minúsculos, los llamados microplásticos y nanoplásticos, de ubicua presencia en todos los mares, que son ingeridos por la fauna marina y acaban pasando a la cadena trófica hasta llegar a afectar a todo tipo de criaturas, incluidos los humanos. Varios estudios han detectado la presencia de estas sustancias en orina y heces de niños y adultos de todo el planeta.

El problema es bien conocido y ha sido objeto de especial interés del Grupo Conjunto de Expertos en Aspectos Científicos de la Protección Ambiental Marina (GESAMP), un organismo asesor de Naciones Unidas creado en 1969, que trabaja con 10 agencias de la ONU. Cuenta con una plantilla de 17 expertos en diferentes aspectos y disciplinas relacionados con la vida marina, pero su capacidad investigadora procede de los cientos de científicos colaboradores, procedentes de medio centenar de países, que forman parte de los grupos de trabajo específicos y que generan informes sobre aspectos concretos relacionados con la conservación de los mares. En el caso de los plásticos, en los últimos diez años la institución ha publicado cuatro informes, en 2010, 2015, 2016 y 2019, los tres primeros específicamente sobre microplásticos.

De acuerdo con el informe de 2016, los microplásticos se definen como partículas de plástico menores de 5 mm de diámetro. Su origen puede ser primario o secundario, según se fabriquen originalmente para ser de ese tamaño o si resultan de la fragmentación de otros más grandes respectivamente. Así, la fragmentación y la degradación juegan un papel esencial en la formación de microplásticos secundarios, pero los procesos son poco conocidos. Hay

evidencias de la generación primaria o secundaria de microplásticos en todos los niveles del ciclo de vida de un producto plástico, tanto de forma difusa como de fuentes puntuales que representan un reto importante para la investigación futura y requieren campañas de seguimiento coordinadas internacionalmente. Hasta ahora, el número de estudios es relativamente pequeño y con métodos y contextos muy variables.

Un informe de 2017 del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) cifraba en 51 billones el número de partículas de microplásticos existentes en el mar y alertaba de que en 2050 el 99 % de las aves marinas habrían ingerido plástico. Por su parte, GESAMP alerta de que ya se han hallado microplásticos en todo tipo de hábitats y en más de 100 especies de organismos. Por todo ello, el PNUMA lanzó su campaña *Clean Seas*, que pretende conseguir para 2022 una drástica reducción de algunas de las fuentes de estos microplásticos, que según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), son, principalmente, las fibras textiles sintéticas (35 %), los neumáticos (28 %) y el polvo de las ciudades (24 %). El resto procede de la descomposición de otros plásticos, de pinturas y revestimientos, cosméticos y la propia materia prima de los polímeros, pequeñas bolitas conocidas como granza o *pellets*.

Los microplásticos primarios se utilizan ampliamente en la industria y en la fabricación de abrasivos en limpiezas de superficies de los edificios y buques, y también como polvos para moldeo por inyección y, más recientemente, para la impresión 3D. También se utilizan en productos de cuidado personal y cosméticos, como pasta de dientes, geles de ducha, agentes de limpieza y exfoliantes para la piel. En algunos casos, como los filtros solares, su tamaño es aún menor y se denominan nanoplasticos. Todas estas partículas se conocen también como microperlas y el número de ellas presente en un producto cosmético típico es muy variables; por ejemplo, se ha estimado que se pueden liberar desde 4.600 hasta 94.500 microperlas por aplicación de un exfoliante para la piel. Estas partículas se liberan directamente a los desagües y van derechas al mar si no existe un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales. Las plantas más modernas retienen más del 96 % de los microplásticos por filtración. Si bien este aporte de microplásticos parece representar una fuente significativa, es relativamente pequeño en comparación con otras fuentes o microplásticos primarios y secundarios en el medioambiente, en términos de tonelaje.

De hecho, una categoría importante de microplásticos primarios son las perlas de resina plástica o *pellets*. Son partículas esféricas o cilíndricas, de unos pocos milímetros de diámetro. Es la forma en que se producen los plásticos en bruto, la materia prima que emplea la industria transformadora para generar el plástico, tanto como producto final como producto intermedio para su incorporación a otros procesos. Ha habido muchos casos de pérdida accidental de gránulos de resina durante el transporte, el transbordo o en las instalaciones de fabricación de tal manera que los *pellets* de resina se han distribuido ampliamente en el medio marino constituyendo la principal fuente de microplásticos primarios en el mar.

Como origen secundario, un número significativo de fibras textiles entran en el ambiente marino, encontrándose en gran proporción en sedimentos costeros cercanos a centros de po-

blación urbanos. Representa una importante fuente potencial de microplástico, especialmente durante el lavado, ya que, según un estudio publicado en 2011 en *Environmental Science & Technology* por un grupo de investigación encabezado por Mark Anthony Brown, se desprenden más de 1.900 fibras cada vez que una prenda se lava. Se trata de un valor promedio ya que existen importantes diferencias geográficas debido a la prevalencia de fibras sintéticas frente a las naturales, la longitud de los hilos, el acceso a las instalaciones de lavado mecánico, el tipo de detergentes utilizados y la frecuencia de lavado. Las plantas de tratamiento de aguas residuales retienen una proporción variable, dependiendo de la existencia, diseño y eficacia de las instalaciones de tratamiento.

Otra fuente importante de microplásticos en el mar es el desgaste de los neumáticos, que origina una emisión de partículas plásticas de menos de 80 micras. Parte de esta especie de polvo aterriza directamente en el suelo alrededor de las carreteras y la lluvia acaba arrastrándolas hacia el mar. El resto de partículas se mantiene en el aire y son arrastradas por el viento hasta depositarse directamente en el mar o caer a tierra donde serán también recogidas y transportadas por el agua de lluvia. Los neumáticos para automóviles están fabricados en su mayor parte con caucho de estireno-1.3-butadieno (SBR). Según un estudio, en Países Bajos cada año se liberan unas 17.000 toneladas de este polvo producido por el desgaste de neumáticos de goma y se estima que estas emisiones de polvo en Noruega, Suecia y Alemania ascienden a 4.500, 10.000 y 110.000 toneladas respectivamente, lo que supone entre 1 y 1,4 kilos de polvo plástico por habitante.

Se calcula que el 80 % de la contaminación marina por plásticos procede de tierra, pero el restante 20 % se debe a actividades realizadas directamente en el mar. Por ejemplo, el mantenimiento y la limpieza de barcos para eliminar los organismos que se adhieren a sus cascos, como moluscos y algas, implican la utilización de partículas de plástico. También se utilizan para limpiar el interior de los tanques. Se liberan, así, dos tipos de microplásticos: el polvo abrasivo de plástico original (primario) y escamas de pintura (secundaria), que a menudo contienen una base de polímero. Aproximadamente el 70 % de los barcos comerciales se desmantelan en el sur de Asia (India, Bangladés y Pakistán), muy a menudo en las costas más expuestas, y un 19 % más en China, lo que supone una importante fuente de residuos plásticos. El desgaste rutinario de los aparejos de pesca introduce una gran variedad de microplásticos secundarios. El uso de plantas de fondo en algunos tipos de redes de arrastre puede ser otra fuente importante de fibras sintéticas en algunas regiones, aunque no se dispone de evidencia sólida.

5. Degradación

Los plásticos tienden a degradarse y a perder sus propiedades iniciales a lo largo del tiempo a un ritmo que dependerá de las condiciones físicas, químicas y biológicas a las que estén expuestos. La degradación relacionada con la intemperie da como resultado una progresión de cambios como pérdida de integridad mecánica, fragilidad, degradación adicional y frag-

mentación en microplásticos secundarios. La degradación por fragmentación es acelerada por la abrasión producida por la actividad de las olas. Y se produce también una fotodegradación por la radiación ultravioleta, cuyos efectos son más pronunciados en las costas, especialmente en las regiones ecuatoriales y también la biodegradación por microorganismos. Pese a todo, y aunque es difícil de estimar, se considera que en el medio marino este proceso es extremadamente lento. En la superficie o en la columna de agua el plástico se viste con recubrimientos biológicos e inorgánicos, pero, una vez que el plástico se entierra, la velocidad de degradación se vuelve extremadamente lenta debido a la disminución de exposición a los rayos UV, menor temperatura y menores niveles de oxígeno. Con frecuencia se han observado botellas de PET y aparejos de pesca en el lecho marino que no parecen haber sufrido deterioro.

La biodegradación por microorganismos resulta especialmente importante en el caso de nuevos materiales plásticos específicamente pensados para ser biodegradables, la mayor parte de ellos procedentes de fuentes no fósiles, como cultivos, restos forestales y desechos orgánicos. La biodegradación supone la desaparición del material plástico, ya que una vez completado el proceso, se convierte en dióxido de carbono, agua y otros compuestos naturales, dependiendo de las condiciones ambientales circundantes. Este proceso se realiza ya en plantas de compostaje industrial, sometiendo el material a condiciones controladas, como una temperatura fija, con frecuencia de unos 50°, y el material se degrada en cuestión de semanas o meses.

En España, trabaja en esta línea el grupo de Biotecnología de Polímeros del Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), dirigido por María Auxiliadora Prieto. Según informa en la web del instituto, gran parte de su actividad investigadora se centra en la producción de poliésteres bacterianos o polihidroxialcanoatos (PHA), que se consideran entre los biopolímeros más prometedores por su carácter biodegradable. Para ello utilizan como materia prima residuos industriales y urbanos, como el glicerol, residuos grasos y gas sintético; y para realizar el trabajo bacterias en su estado natural, como *Pseudomonas putida* y *Rhodospirillum rubrum*, además de microorganismos genéticamente modificados para adaptarlos a estos procesos. Incluso, uno de sus proyectos de investigación se plantea conseguir la bioconversión sostenible y ecológica de desechos plásticos de origen petroquímico para transformarlos en bioplásticos, completamente biodegradables, mediante el uso de biocatalizadores basados en bacterias modificadas. Se trata de diseñar enzimas capaces de biodespolimerizar el polietileno tereftalato (PET) y el poliuretano (PU) para generar el biopolímero PHA.

Los bioplásticos son la esperanza de desarrollar nuevos materiales que ofrezcan las mismas prestaciones que los plásticos actualmente en uso, pero que solventen el problema de su destino final, por su carácter biodegradable. Según Daniel López, director del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP) del CSIC, ya se están empleando algunos de estos biopolímeros, aunque aún queda mucho recorrido para que puedan usarse de forma generalizada, sustituyendo a los actuales. Suelen tener un peso molecular bajo y son difíciles de procesar por lo que resultan más caros, pero su uso generalizado y las limitaciones que se vayan imponiendo a los otros plásticos pueden hacerlos competitivos a medio plazo. En el ICTP trabajan en

esta línea de forma intensiva, utilizando como fuentes de estos biopolímeros maíz, celulosa, proteínas de la leche, caña de azúcar y también residuos orgánicos de diferentes fuentes, como los desechos de la agricultura.

Incluso se investiga en la obtención de plásticos a partir del dióxido de carbono. En el Centro de Ciencia de Materiales de Bayer en Leverkusen (Alemania) lo llevan haciendo desde 2011 en una planta piloto. Allí, el CO₂ procedente de la chimenea de una central eléctrica cercana es convertido en poliol, un componente del poliuretano. La clave para conseguirlo ha sido obtener un catalizador capaz de llevar a cabo la conversión. El producto resultante se utiliza ya en la elaboración de espumas para colchones y otras aplicaciones.

6. Aditivos químicos

El problema de la contaminación por microplásticos se acrecienta porque muchos de ellos suelen contener una amplia variedad de compuestos adicionales que se agregan para modificar las propiedades del producto final. Por ejemplo, pueden hacer que el polímero sea más flexible, resistir la degradación de los rayos UV, agregar color, hacerlo conductor o semiconductor o ser retardante de llama. Algunos de estos aditivos químicos son benignos, mientras que otros han demostrado tener efectos tóxicos significativos en poblaciones humanas y no humanas a través de la ingestión, inhalación o contacto dérmico. Los aditivos que se mezclan con el plástico durante la fabricación pueden liberarse en el medio ambiente a lo largo del tiempo, especialmente cuando el plástico comienza a degradarse.

Estos productos químicos pueden luego adherirse a otras partículas plásticas o a los lípidos (grasas) y, por lo tanto, entrar en la cadena alimentaria por una ruta secundaria. La proporción relativa de estos aditivos varía mucho según el tipo de polímero. Además, algunos monómeros utilizados en la producción de ciertos plásticos tienen una tendencia a liberarse para unirse a otros componentes con más afinidad. El ejemplo conocido es el bisfenol A (BPA), que se usa en la producción de policarbonato y algunas resinas epoxi, por ejemplo, que se utilizan para revestir recipientes de alimentos. El bisfenol A actúa como un estrógeno sintético y es fácilmente absorbido por el cuerpo. La mayoría de la población de los países desarrollados tiene niveles detectables de BPA, pero el grado en que causa efectos en la salud es un tema de intenso debate.

El océano está contaminado con una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos como un legado de décadas de desarrollo industrial y crecimiento económico. El transporte a través del océano y de los movimientos atmosféricos ha llevado contaminantes a todas las regiones del planeta. Muchos contaminantes orgánicos son lipófilos, lo que significa que se absorben fácilmente en grasas y aceites en peces, mamíferos y otros organismos. Esto incluye los llamados contaminantes orgánicos persistentes (COP), contemplados en el Convenio de Estocolmo, así como otros compuestos persistentes, bioacumulables y tóxicos (PBT). Los plásticos tienen propiedades similares a las grasas naturales y pueden actuar como una *esponja*, absorbiendo y concentrando estos contaminantes de la columna de agua. Si un animal, como

un pez, un ave o un mamífero marino, ingiere partículas de plástico, existe la posibilidad de transferir estos productos químicos absorbidos a sus tejidos. Debido a la persistencia de tales compuestos, los seres humanos y otros animales continuamos estando expuestos mucho tiempo después de que un producto químico se haya retirado de la producción, como ocurre con los bifenilos policlorados (PCB) hoy prohibidos en casi todo el mundo.

El GESAMP declaraba en las conclusiones de su informe de 2016, que «estudios ecotoxicológicos han demostrado que los contaminantes (de los microplásticos) pueden alterar la estructura y función de los ecosistemas, así como procesos fisiológicos de los organismos (por ejemplo, división celular, inmunidad, regulación hormonal) que pueden ser interrumpidos, causando enfermedad». Y añadía que «el impacto ecológico de los microplásticos está muy relacionado con los aditivos químicos que contienen. Algunos de ellos peligrosos y exclusivos de los residuos plásticos». No obstante, advertía que los datos existentes provienen de un número de estudios relativamente pequeño y con métodos y contextos muy variables.

Según Nicolás Olea, catedrático de Medicina de la Universidad de Granada y experto en efectos para la salud de sustancias químicas, «sabemos muy poco aún de la toxicidad de los microplásticos. Necesitaremos 15 años para saber algo sobre su toxicidad. Ni siquiera sabemos si se absorben o no, ni el comportamiento de sus componentes, monómeros y aditivos, salvo en algunos casos, como el bisfenol A de los policarbonatos». El problema, en su opinión, es que muchas de estas sustancias interfieren con el sistema hormonal, con consecuencias imprevisibles. «No se trata de efectos directamente causales, sino que hablamos de enfermedades complejas, multifactoriales, endocrinas, como la infertilidad, la obesidad, diabetes, déficit de vitamina D, hipotiroidismo, hiperactividad... Y aunque se hacen análisis toxicológicos de las sustancias individuales, no se tiene en cuenta el efecto cóctel, las consecuencias de la asociación de muchas de estas sustancias».

7. Europa tiene un plan

La basura marina le cuesta a la economía de la Unión Europea cerca de 700 millones de euros por año y se estima que el coste del daño medioambiental será de 22.000 millones de euros para 2030. Pese a ello, y aunque el interés y seguimiento mediático ha ido creciendo en los últimos años, hasta 2018 la Unión Europea no ha presentado una Estrategia para abordar el problema de los plásticos, como parte de la transición hacia una economía circular. Tiene como objetivo proteger el medio ambiente al tiempo que se sientan las bases de una nueva economía del plástico, en la que se transforme el diseño y la producción respetando plenamente las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje y se elaboren materiales más sostenibles.

Además de afrontar una reducción en el uso de plásticos, se pretende incrementar las cifras de reciclado haciendo que sea rentable para las empresas, adoptando nuevas medidas sobre el envasado para mejorar la reciclabilidad de los plásticos utilizados en el mercado e incrementar la demanda de contenido de plásticos reciclados y biodegradables. Para ello, se

deberán instalar plantas de reciclaje más amplias y con mayor capacidad, así como un sistema mejor y estandarizado para la recogida separada y la clasificación de residuos en toda la UE.

La legislación europea ya ha dado lugar a una reducción significativa del uso de las bolsas de plástico en distintos Estados miembros. Los nuevos planes se centran ahora en prevenir y reducir el impacto de ciertos productos plásticos en el medio ambiente y la salud humana; la Directiva 2018/0172(COD), aprobada por el Parlamento Europeo en marzo de 2019, introduce una prohibición a partir de 2021 de los productos plásticos de un solo uso en la UE siempre que haya alternativas disponibles. Estos productos constituyen el 70 % del total de los desechos marinos e incluyen cubiertos (tenedores, cuchillos, cucharas, palillos), placas, pajitas, bastoncitos de algodón, agitadores de bebidas, barras para unir y sostener globos, recipientes de alimentos hechos de poliestireno expandido y productos de plástico oxo-degradable, ya que ese tipo de plástico no se biodegrada adecuadamente.

Para los plásticos de un solo uso, la reducción en su consumo deberá ser cuantificada en cada estado miembro en 2026 para comparar con los datos de consumo en el año 2022. Estos plásticos incluyen vasos (con tapas incluidas), recipientes de alimentos destinados al consumo inmediato, o para llevar y también los consumidos sin ninguna preparación adicional. Para las botellas de plástico se establece un objetivo de recolección por separado del 90 % de reciclaje para 2029 debiendo contener al menos un 25 % de plástico reciclado en su fabricación para 2025, y un 30 % para 2030. A más tardar el 1 de enero de 2022, la Comisión debe adoptar actos de ejecución que establezcan las normas de cálculo y verificación de estos objetivos.

Para las toallas sanitarias, toallitas húmedas, filtros de cigarrillos y tazas para beber se hará obligatorio contener información en la etiqueta sobre el manejo de los desechos y del impacto ambiental negativo resultante de la basura que generan. Los filtros de los cigarrillos son el segundo artículo de plástico de un solo uso más contaminante: un solo cigarrillo contamina entre 500 y 1.000 litros de agua y tarda 12 años en desintegrarse. Y en este apartado, la Directiva refuerza la aplicación del principio de «quien contamina paga» para la industria tabacalera. Los regímenes de responsabilidad extendida del productor establecidos para los filtros plásticos de tabaco permitirán que los productores cubran los costos de las medidas de sensibilización para estos productos; los costes de limpieza de la basura que resultan de los mismos; el transporte y el tratamiento de estos residuos; los costes de la recogida para aquellos productos que se descartan en los sistemas de recolección pública; y la creación de una infraestructura específica para la recogida de residuos de dichos productos.

Con respecto a los aparejos de pesca, los Estados miembros deben supervisar y evaluar los que contengan plástico comercializado y plástico recolectado e informarán a la Comisión con miras al establecimiento de productos vinculantes. La estrategia comunitaria pretende imponer nuevas normas sobre instalaciones portuarias de recogida para abordar la cuestión de la basura marina generada en los mares, mediante medidas que velen por que los desechos generados en los buques o recogidos en el mar para que sean devueltos a tierra para su correcto tratamiento incluyendo medidas para reducir la carga administrativa de los puertos, buques y autoridades competentes.

También se contemplan medidas de sensibilización para incentivar el comportamiento responsable de los consumidores, a fin de reducir la basura de los productos cubiertos por la Directiva. Los consumidores deben conocer la disponibilidad de productos alternativos reutilizables y el impacto de la eliminación inadecuada de los desechos de plástico de un solo uso en el sistema de alcantarillado.

Para fomentar la inversión y la innovación la Comisión ofrecerá orientación a las autoridades nacionales y a las empresas europeas sobre cómo minimizar los residuos plásticos desde su origen. La innovación se incentivará mediante una asignación adicional de 100 millones de euros, para desarrollar materiales plásticos más inteligentes y fáciles de reciclar, hacer que los procesos de reciclaje sean más eficientes, y controlar y supervisar las sustancias nocivas y los contaminantes de los plásticos reciclados.

Es urgente que medidas como las adoptadas por la Unión Europea, a las que deberán seguir otras más avanzadas, se implanten también en el resto del mundo para detener en la medida de lo posible el fenómeno de la contaminación de los mares por plásticos, que puede convertirse en un bumerán que atente contra la supervivencia de nuestra especie. Para evitarlo es necesario afrontar el reto de lograr una economía circular, con medidas legislativas que controlen y reduzcan el uso indebido del plástico, que impulsen la recuperación y reciclaje de todos los residuos, que fomenten el desarrollo de nuevos plásticos de origen no fósil biodegradables y que emprendan acciones para recuperar los desechos que se acumulan hoy en las aguas de todos los mares del planeta. Y las herramientas del cambio son, junto con medidas políticas y económicas, la ciencia y la tecnología.

Referencias bibliográficas

COMISIÓN EUROPEA: Directiva sobre plásticos de un solo uso <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20190321IPR32111/los-plasticos-de-un-solo-uso-prohibidos-a-partir-de-2021>.

GESAMP Informes:

(2010): <http://www.gesamp.org/publications/proceedings-of-the-gesamp-workshop-on-microplastic-particles>.

(2015): <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>.

(2016): <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment-part-2>.

(2019): <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>.

- UNEP (2016): «Marine plastic debris and microplastics –Global lessons and research to inspire action and guide policy change». United Nations Environment Programme, Nairobi. <https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/marine-plastic-debris-and-microplastics-global-lessons-and-research-inspire-action-and-guid>.
- UNEP (2017): «Combating marine plastic litter and microplastics: An assessment of the effectiveness of relevant international, regional and subregional governance strategies and approaches»; https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/unea-3_mpl_assessment-2017oct05_unedited_adjusted.pdf.

Algunos datos se han obtenidos de webs de medios de comunicación españoles como *El País*, RTVE y *La Vanguardia*. Otros de las webs del Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, PlasticsEurope y el Parlamento Europeo. También se recogen datos obtenidos por entrevista directa con algunos expertos.