

Los microplásticos, una amenaza desconocida para los ecosistemas marinos de Colombia: perspectivas y desafíos a enfrentar

Microplastics, an Unknown Threat to Colombia's Marine Ecosystems: Perspectives and Challenges to Face

Jorge Alexander Quirós-Rodríguez^{a, b, c}, Carlos Nisperuza-Pérez^a, Juan Yepes-Escobar^a

RESUMEN

Los plásticos están presentes en todos los aspectos de la vida cotidiana y su producción masiva alrededor del mundo ha traído consigo un área emergente de investigación: los microplásticos, estas partículas de tamaño diminuto están causando graves efectos en el ambiente marino, a tal punto que hay una creciente preocupación por los posibles efectos sobre la biota, el equilibrio de los ecosistemas marinos y la salud humana. La presente revisión tiene por objetivo brindar una visión más integrada de la contaminación por microplásticos y sus posibles problemáticas asociadas en los ecosistemas marinos y costeros de Colombia. Teniendo en cuenta la información disponible hasta la fecha, se evidencia un aumento progresivo en el estudio de estos contaminantes principalmente en cuanto a su distribución. Sin embargo, existe escasa información del efecto que puede tener sobre la biodiversidad de los ecosistemas marinos de Colombia, por ello se hizo necesario recurrir a bibliografía internacional, en la cual se atribuyen tres problemáticas a los microplásticos: la ingestión por parte de la biota marina, proliferación de microorganismos no deseados y la biomagnificación de sustancias tóxicas, lo cual respalda que estas partículas son una amenaza evidente para los ecosistemas marinos de Colombia. Finalmente, se proponen siete áreas de actuación para el estudio de estas partículas, y algunas estrategias que permitan minimizar su efecto, haciendo énfasis en que la educación pública es una parte crítica para crear cambios a nivel social.

PALABRAS CLAVE: ambiente marino; contaminación; ingestión; organismos marinos; plástico.

ABSTRACT

Plastics are present in all aspects of everyday life and their mass production around the world has brought with it an emerging area of research: microplastics, these tiny particles are causing serious effects on the marine environment, to such an extent that there is growing concern about possible effects on biota, the balance of marine ecosystems and human health. This review aims to provide a more integrated view of microplastic pollution and its potential associated problems in Colombia's marine and coastal ecosystems. Taking into account the information available to date, there is a progressive increase in the study of these pollutants, mainly in terms of their distribution. However, there is little information on the issue of the effect it may have on the biodiversity of Colombia's marine ecosystems. For this reason, it was necessary to resort to international bibliography, in which three problems are attributed to microplastics: ingestion by marine biota, the proliferation of unwanted microorganisms and biomagnification of toxic substances, which supports that these particles are an obvious threat to marine systems in Colombia. Finally, seven areas of action are proposed for the study of these particles and some strategies to minimize their effect, emphasizing that public education is a critical part to create changes at the social level.

KEYWORDS: marine environment; pollution; ingestion; marine organisms; plastic.

a Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Investigación en Biotecnología (GRUBIODEQ). Montería, Colombia. ORCID Quirós-Rodríguez, J.A.: 0000-0003-2618-3282; ORCID Nisperuza-Pérez, C.: 0000-0002-2312-4677; ORCID Yepes-Escobar, J.: 0000-0003-1336-4623

b Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación Química de los Productos Naturales (PRONAT). Montería, Colombia.

c Autor para correspondencia: jquiros@correo.unicordoba.edu.co

Introducción

Colombia cuenta con una posición privilegiada con jurisdicción y soberanía sobre dos océanos que constituyen un área marina que ocupa aproximadamente el 50 % de su territorio, siendo hogar de ecosistemas marinos y costeros, de los cuales dependen importantes actividades económicas para el país como la pesca y el turismo (Díaz, 2015). Sin embargo, todos estos ecosistemas están expuestos a presiones como: pérdida y degradación del hábitat, sobrepesca, introducción de especies, cambio climático y la contaminación por plásticos (Ayram et al., 2020).

Los plásticos están presentes en todos los aspectos de nuestra vida cotidiana, hecho que se puede atribuir a ciertas características del material como su masa, durabilidad, bajo precio y buen aislante (Zamora-Saenz, 2018). Se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, que van desde artículos personales, para el hogar, en ropa y embalaje, hasta materiales de construcción y transporte (Andrady, 2011). Este uso generalizado ha impulsado la producción mundial anual de 1,7 millones de toneladas de plástico en la década de 1950, cuando comenzó la producción masiva, a casi 370 millones de toneladas en 2019 (Plastic Europe, 2021). Si bien los beneficios sociales de los plásticos son innegables (Andrady y Neal, 2009), y aunque una parte de estos residuos plásticos se gestionan adecuadamente (se reciclan o queman), Thompson et al. (2009) estiman que el 10% de todos los plásticos producidos terminan en nuestros océanos y mares. Recientemente Jambeck et al. (2015) menciona que cerca de 8 millones de toneladas de residuos plásticos ingresan al océano cada año, causando graves problemas ambientales asociadas a este material.

Una vez presentes en el medio marino, los residuos plásticos se exponen a factores degradantes, como la radiación UV-B y la acción de la onda de abrasión física (Andrady, 2011). Los elementos plásticos de residuos marinos se fragmentan, hasta que se convierten en microplásticos (cualquier pieza de plástico de menos de 5 mm a 1 µm de tamaño). Desafortunadamente, parece que a medida que la producción de plásticos ha aumentado exponencialmente durante los últimos 50 años, estas pequeñas piezas de plástico se han vuelto cada vez más

abundantes en el ambiente acuático. De hecho, ahora están siendo reconocidos en todo el mundo, como una creciente preocupación, y una de las amenazas más omnipresentes y formidables que ponen en peligro los ecosistemas marinos y su biota asociada. La presencia de estos llamados microplásticos se ha demostrado en diferentes compartimentos marinos en todo el mundo, como los sedimentos intermareales y submareales, aguas superficiales, playas e incluso dentro de las capas de hielo polar. Debido a sus pequeñas dimensiones, los microplásticos tienen un rango de tamaño similar al de los organismos planc-tónicos y otras partículas suspendidas, lo que hace que estén disponibles y sean consumidos de forma accidental por una gran variedad de invertebrados marinos que comúnmente no se ven afectados por residuos más grandes (Wright et al., 2013).

Inicialmente, la atención científica y pública se centró principalmente en grandes residuos plásticos (Li et al., 2020). Durante los últimos años, los microplásticos han recibido una atención creciente y ahora, se han convertido en un área emergente de investigación; es por ello que esta revisión tiene por objetivo brindar una visión más integrada de la contaminación por microplásticos y sus posibles problemáticas asociadas en los ecosistemas marinos y costeros de Colombia. Para ello, se abarcarán algunas generalidades sobre los microplásticos, problemáticas ambientales asociadas a escala global, demostrar porqué los micropásticos pueden ser considerados como una amenaza evidente en los ecosistemas marinos y costeros colombianos, para finalmente, establecer los desafíos de acción y proponer estrategias de mitigación respecto a esta problemática.

Materiales y métodos

Para esta revisión sistemática se realizó una búsqueda bibliográfica según el protocolo de exploración y selección de estudios, de acuerdo con las directrices proferidas para revisiones sistemáticas y meta-análisis (Moher et al., 2009). La búsqueda de la información se realizó en Scopus (<https://www.scopus.com>), ScienceDirect (<https://www.science-direct.com/>), Google Scholar (<https://scholar.google.com>), Springer (<https://www.springer.com/la>), ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>) y

SciELO (<https://scielo.org/es/>), dado el carácter multidisciplinario de estas plataformas, la disponibilidad de los campos de título y resumen, y la posibilidad de realizar búsquedas combinadas. Se incluyeron trabajos publicados de los últimos 20 años en inglés o español, que tuvieran los términos “microplásticos” “Colombia” “marino” o “costero” en el título, palabras clave o resumen. También se tuvo en cuenta trabajos de grado realizados en microplásticos en Colombia disponibles en internet.

Resultados

El término microplástico comúnmente se refiere a partículas plásticas que tienen un tamaño desde 5 mm a 1 μm , esta definición es usada por muchos autores (Cole et al., 2011; Frias y Nash, 2019; Vethak y Legler et al., 2021). Sin embargo, si se desea indicar expresamente que el microplástico en cuestión tiene un tamaño menor a 1 mm a lo largo de su dimensión más larga, entonces se usa el término mini-microplástico (MMP). Además, también suele usarse el término nanoplástico para referirse a cualquier pieza de plástico menor de 1 μm de tamaño (Tabla 1). No obstante, debido al tamaño increíblemente pequeño de los nanoplásticos y, por lo tanto, a las dificultades para detectarlos y recuperarlos, la mayoría de los estudios sobre el medio ambiente acuático tienden a ignorar los nanoplásticos y solo se centran en los microplásticos y los mini-microplásticos (Crawford y Quinn, 2017).

Generalmente los microplásticos se dividen en dos categorías: primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son todos aquellos que ya son manufacturados y se liberan directamente al medio ambiente en forma de pequeñas partículas (Cole et al., 2011). Entre ellos, destacan las microesferas (<500 μm) contenidas en algunos productos de cosmética, las mezclas utilizadas para el arenado/granallado, y los microplásticos empleados como vectores de medicamentos, así como los empleados para la impresión en 3D de forma más reciente. Estas micropartículas suponen un grave problema ambiental al incorporarse tras su uso a la red de alcantarillado, sorteando los sistemas de saneamiento y desembocando en los mares y océanos (Lebreton et al., 2017). Por otro lado, los pellets, partículas de

plástico de 2-5 mm, precursores de materiales plásticos de mayor tamaño, representan por sí mismos una importante entrada de plástico en los océanos debido a derrames accidentales en el transporte o manipulación. Suelen estar compuestos predominantemente por polímeros como el polietileno y el polipropileno y, aunque su concentración suele ser mayor en zonas cercanas a áreas urbanas e industriales, se han encontrado importantes acumulaciones en numerosas playas.

Tabla 1. Categorización de piezas de plástico cuya longitud es menor a 5 mm. Tomado de Crawford y Quinn (2017).

Categoría	Abreviación	Tamaño
Microplásticos	MP	< 5 mm-1 mm
Mini-microplásticos	MMP	<1mm-1 μm
Nanoplástico	NP	<1 μm

Por otro lado, los microplásticos secundarios son aquellos productos de plástico de mayor tamaño que, una vez manufacturados, bien en la superficie del mar, en las playas o en otros ambientes, están expuestos a condiciones externas como la radiación solar (UV), entre otras, que causaran la degradación de los mismos. Esta degradación, que puede ser de muchos tipos en función de la causa que la genere, lleva asociada la decoloración de los plásticos, el desarrollo de erosiones en su superficie y un aumento de su fragilidad. Sin embargo, para conocer lo que ocurre en etapas sucesivas, aún quedan factores pendientes de estudio como la presión hidrostática (para el caso de los plásticos en los fondos marinos), o la salinidad. En cualquier caso, la fragmentación de plásticos de mayor tamaño constituye una fuente adicional de entrada de microplásticos y nanoplásticos al medio (Eerkes-Medrano et al., 2015); bien tenga lugar antes de ser desechados en el medio ambiente como es el caso de la fragmentación de las fibras sintéticas al lavar la ropa, o la que ocurre una vez estos plásticos de mayor tamaño ya forman parte del medio ambiente y son degradados por diferentes procesos químicos, biológicos y físicos (Rojo-Nieto y Montoto, 2017). Según Browne et al. (2011) en un solo lavado de prendas sintéticas se pueden liberar más de 1900 fibras de microplásticos, que llegarían a los océanos a través de los efluentes de aguas residuales.

¿Por qué se pueden considerar a los microplásticos como una amenaza para los ecosistemas marinos de Colombia?

La contaminación marina causada por microplásticos ha sido reconocida como una amenaza ambiental y ecológica mundial, por lo que hay una creciente preocupación por los posibles efectos sobre la biota, ya que los microplásticos están disponibles para todos los niveles de la red alimentaria, desde los productores primarios hasta los organismos de nivel trófico superior (Wright et al., 2013; GESAMP, 2015; Lei et al., 2018). Se sabe que los residuos microplásticos proliferan, migran y se acumulan en hábitats naturales de polo a polo, y de la superficie del océano al lecho marino; estas partículas también se depositan en playas urbanas y sedimentos marinos, considerándose como un tipo de contaminación ubicua y persistente en los océanos del mundo, y una amenaza abiertamente a los organismos marinos.

Para el caso de Colombia, en los últimos cinco años ha existido un auge notorio en estudios relacionados con la distribución de microplásticos en algunas áreas del Caribe y Pacífico, destacándose los trabajos de Acosta-Coley y Olivero-Verbel (2015), Acosta-Coley et al. (2019a, 2019b), Garcés-Ordóñez et al. (2020a, 2020b), Rangel-Buitrago et al. (2021) quienes registran la presencia de estos contaminantes en varias playas de interés turístico. Por otra parte, Correa-Herrera et al. (2017) registro la presencia de desechos plásticos antropogénicos (< 5mm) en cuatro hábitats estuarinos en el delta del río Atrato. Garcés-Ordóñez y Bayona (2019) mostraron su preocupación por la contaminación de basuras en suelos de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, lo cual fue respaldado por Garcés-Ordóñez et al. (2019) quienes registraron microplásticos en esta área geográfica y evidenciando que dichas partículas son más frecuentes en zonas cercanas a centros urbanos. Para el Pacífico colombiano, Vásquez-Molano et al. (2021) encontraron microplásticos en sedimentos en la bahía de Buenaventura, con abundancias que variaron de 11 a 1354 partículas/kg, con promedios para los años 2015 y 2019 de 194.9 ± 51.3 y 359.6 ± 88.0 partículas/kg respectivamente.

Esta situación en Colombia se vuelve más grave debido a que se ha reportado estas partículas de plástico en peces, pudiendo tener efectos en la

cadena alimenticia. Los primeros estudios ponen en manifiesto el consumo de microplásticos por el pez comercial *Cetengraulis mysticetus* (Günther, 1867) en el Pacífico colombiano, específicamente en Buenaventura y Tumaco, donde el 3,3% de 30 individuos analizados presentaron este material en el tracto digestivo (Ory et al., 2018). Por su parte, Calderón y Hansen (2018) registraron la presencia de estas partículas en cuatro especies de peces capturados en el estero de la Ciénaga grande de Santa Marta. Recientemente, Garcés-Ordóñez et al. (2020c) evaluaron la incidencia de la ingestión de microplásticos por peces en ecosistemas de manglar de la bahía de Cispatá, departamento de Córdoba, encontrando un total de 69 microplásticos en el tracto digestivo del 7% de los peces analizados ($n=302$; 22 especies distintas), evidenciándose la contaminación por microplásticos en estos ambientes marinos. Así mismo, dentro de esta área de estudio, a partir de búsquedas exploratorias evidenciamos la presencia de estos contaminantes en sedimento, en el contenido estomacal del pepino de mar *Holothuria (Halodeima) grisea* en las playas de San Antero (información no publicada).

Teniendo en cuenta que la industria del plástico en Colombia, durante las últimas décadas, ha presentado un crecimiento promedio anual del 7% (Sarría-Villa y Gallo-Corredor, 2016), la presencia de microplásticos en diferentes compartimientos marinos en algunas zonas de Colombia, y en general, al conocimiento que se tiene de las grandes problemáticas ambientales asociadas a los microplásticos evidenciados desde el artículo de referencia de Buchanan (1971), hasta los publicados recientemente a escala global, se pueden considerar a los microplásticos como una amenaza muy poco conocida para los ecosistemas marinos en Colombia. Dicha amenaza se puede asociar a tres efectos directos: problemática relacionada con la ingestión de microplásticos por organismos, como sustrato para proliferación de microorganismos no deseados, y por ser portadores de contaminantes químicos.

Problemáticas relacionadas con la ingestión de microplásticos

La ingestión de microplásticos por parte de la biota marina ha sido informada ampliamente para

un gran número de especies que representan diferentes niveles tróficos; sin embargo, las consecuencias ecológicas de la ingestión de plásticos son poco conocidas (Auta et al., 2017). A nivel global, se ha reportado el consumo de microplásticos por parte de mamíferos marinos, aves, invertebrados planctónicos, entre otros. Los mecanismos de alimentación de estos organismos no les permiten discriminar entre presas y microplásticos, y los ingieren indistintamente, o bien los consumen intencionalmente al confundirlos con presas (Moore et al., 2001; Moore, 2008). Una vez en el interior de los organismos, las partículas microplásticas pueden acumularse en sus sistemas digestivos hasta el punto de causar la muerte, produciendo así consecuencias negativas a nivel ecosistémico (Galloway et al., 2017).

La absorción de microplásticos por los organismos dependerá de una combinación de parámetros (tamaño, forma y densidad de la partícula plástica) que determinan la posición de estas partículas en la columna de agua y, por lo tanto, la disponibilidad para la biota marina. Típicamente, las partículas de baja densidad flotarán en la columna de

agua, mientras que las partículas de alta densidad tienden a hundirse y acumularse en el sedimento, haciéndolas disponibles para especies filtradoras o alimentadoras de depósitos, respectivamente (Browne et al., 2008). Cabe resaltar que la ingestión de microplásticos puede ir acumulándose a medida que viaja por la cadena alimentaria (Figura 1) y, finalmente llegar a los seres humanos (Bouwmeester et al., 2015).

Los experimentos realizados en laboratorios han demostrado que varios invertebrados marinos que tienen diferentes estrategias de alimentación, ingieren microplásticos, tales como: anfípodos (detritívoros), percebes (filtradores), y pepinos de mar (alimentadores de depósitos y suspensores), como lo reporta Graham y Thompson (2009). Para Colombia, aunque existen reportes de consumo de microplásticos por algunas especies de peces comerciales, se requiere trabajos de investigación en otros organismos, incluyendo invertebrados marinos, lo que permitirá establecer las especies que más consumen microplásticos y la capacidad de biomagnificación en las redes tróficas marinas.

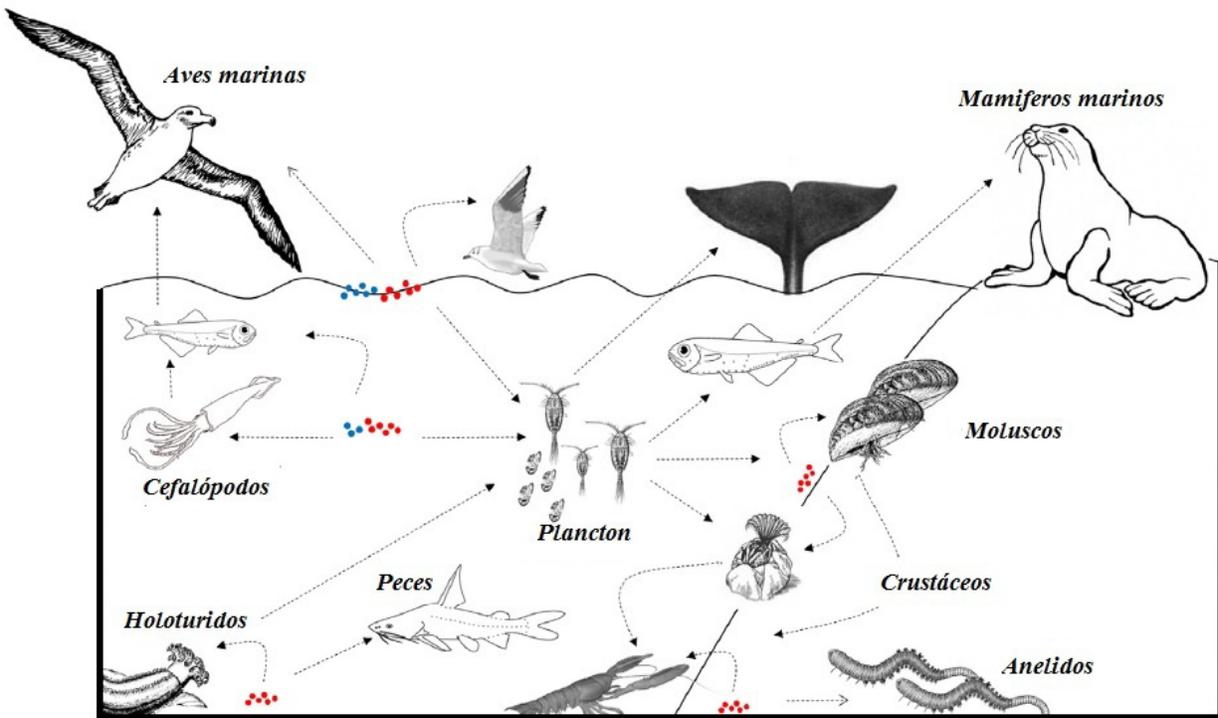


Figura 1. Un modelo conceptual de las rutas tróficas potenciales de los microplásticos a través de vertebrados marinos y grupos de invertebrados. Los puntos azules son polímeros que son menos densos que el agua de mar y los puntos rojos son polímeros que son más densos que el agua de mar. Las flechas discontinuas representan la hipotética transferencia de los microplásticos. Fuente: modificada de Ivar do Sul y Costa (2014)

Los microplásticos como sustrato para microorganismos

Actualmente hay preocupación por el impacto ecológico que producen los microplásticos sobre los organismos marinos; mientras que los impactos físicos son bien reconocidos, la rápida proliferación de estos materiales en ambientes marinos está llevando a una reevaluación de otros posibles efectos perjudiciales (Harrison et al., 2014). Dentro de estos efectos se tienen que los microplásticos pueden servir como sustrato para los microorganismos. En las aguas superficiales marinas abundan las poliolefinas de baja densidad (polietileno, polipropileno) y poliestireno (Song et al., 2014), estos pueden proporcionar hábitats en el océano abierto para la colonización de microorganismos perjudiciales para los ecosistemas marinos.

Es necesario resaltar que el apego microbiano en partículas orgánicas e inorgánicas es un fenómeno común en los ecosistemas acuáticos (Paerl, 1975). Se ha demostrado que el primer paso en la unión microbiana sobre residuos plásticos comienza con la formación de una película acondicionadora capaz de modificar las propiedades de la superficie específicas del material e influir en la comunidad colonizadora. Una vez establecido, el primer recubrimiento puede facilitar la adhesión de otros microorganismos hacia la formación de biopelículas más complejas, una matriz de materia orgánica extracelular autoproducida que proporciona estabilidad mecánica, media la adhesión microbiana a las superficies y permite el metabolismo microbiano incorporando enzimas extracelulares (Harrison et al., 2014). También se han documentado invertebrados asociados a partículas de microplásticos, el cual puede ser transportado a grandes distancias, bien sea por efecto de las corrientes oceánicas o bien a través de la columna de agua.

Debido a estas características y a la presencia de colonizadores oportunistas, algunos investigadores han sugerido que los microplásticos pueden actuar también como vectores de transporte para patógenos, además de especies exóticas (Zettler et al., 2013; Wagner et al., 2014; Anderson et al., 2016; Rummel et al., 2017). Los ensamblajes de estos microorganismos pueden ser diversos y diferentes de aquellos que se encuentran en otros compartimentos

marinos, dando idea de que los microplásticos constituyen un nuevo sustrato para la generación de nuevos sistemas. Por tanto, en Colombia, donde hay un profundo desconocimiento en este tema, debe ser estudiada de una manera más exhaustiva.

Los microplásticos como portadores de contaminantes químicos

Los microplásticos pueden actuar como vectores para el transporte de compuestos químicos tóxicos y microorganismos en el ambiente (Wang et al., 2016; Ma et al., 2020). Dentro de las sustancias químicas se pueden mencionar el bisfenol A, los ftalatos, los retardantes de llama, metales pesados y contaminantes orgánicos hidrófobos que se adsorben en ellos o pueden lixiviarse durante la fabricación de plásticos. La preocupación radica en que algunos de estos compuestos son considerados como disruptores endocrinos, carcinógenos y mutágenos que pueden transportarse de la biota marina a los humanos (Darnerud, 2003; Tanaka et al., 2013; Toso et al., 2017). La lixiviación de aditivos de los plásticos combinada con la absorción de productos químicos al plástico, convierte a los microplásticos en un cóctel de contaminantes tóxicos. Se ha demostrado la biomagnificación de estos contaminantes orgánicos de niveles tróficos inferiores a los peces (Oberbeckmann et al., 2015; Zhang et al., 2020). Al igual que la capacidad de los microplásticos para actuar como un vector de estos contaminantes para anfípodos, poliquetos, mejillones y peces (Van Cauwenberghe et al., 2015; Sarkar et al., 2020).

Los estudios que analizan los efectos de la ingestión de microplásticos por organismos han demostrado una serie de mecanismos de reacción que incluyen inflamación (Wright et al., 2013), aumento de la actividad inmunológica (Browne et al., 2008), una reducción en la actividad de alimentación (Cole y Galloway, 2015), trastornos del comportamiento (Rehse et al., 2016), agotamiento de las reservas de energía (Watts et al., 2014), impactos significativos en la descendencia (Sussarellu et al., 2016) y mortalidad de individuos expuestos (Oliveira et al., 2013). La cascada trófica y los impactos en todo el ecosistema siguen siendo desconocidos. En Colombia, recientemente Acosta-Coley et al. (2021) evaluaron la toxicidad de gránulos de microplásticos negros/

alquitranados y degradados presentes en las playas de la Bahía de Cartagena-Colombia, frente a los gránulos de microplásticos industriales, llegando a la conclusión que los gránulos de microplásticos pueden adsorber contaminantes presentes en el agua, los cuales pueden interferir con los procesos biológicos, siendo una amenaza a la salud de los sitios turísticos y ecosistemas cercanos. Lo anterior pone en evidencia que deben realizarse estudios enfocados en la relación microplásticos-sustancias químicas-efectos sobre la biota, además de explorar otros tipos de compuestos como los contaminantes emergentes (pesticidas, fármacos y residuos de producto de higiene personal y de limpieza), para poder establecer la relación de estos compuestos con partículas microplásticas y su transporte por las cadenas tróficas de los ecosistemas marinos.

Futuros estudios y perspectivas de investigación en Colombia

La presencia de microplásticos en el medio marino está muy generalizada. Los estudios realizados con muestras de campo y los ensayos de laboratorio a nivel global, señalan que los microplásticos pueden ser asimilados por distintos organismos marinos y se pueden transferir a lo largo de la cadena trófica. Los investigadores trabajan ahora para identificar los efectos físicos y toxicológicos que los microplásticos provocan en los organismos marinos y no marinos. Sin embargo, es importante recordar que el campo de la investigación de microplásticos está en sus comienzos. Las incógnitas y la falta de conocimiento hacen difícil sacar conclusiones sobre el impacto de los microplásticos sobre la biota, sus efectos directos en el ecosistema y en la salud de los humanos. Hasta que sepamos con certeza qué impacto tienen los microplásticos, sería sensato aplicar el principio de precaución, por lo que la evaluación periódica crítica de este problema es esencial, especialmente porque el problema va en aumento y persistirá durante siglos, incluso si la contaminación se detiene ahora (Barnes et al., 2009). Al aumentar la concentración de microplásticos en el ambiente marino se incrementa su biodisponibilidad; por lo tanto, las interacciones biológicas de microplásticos son claves para entender el movimiento, impacto y destino de este contaminante en el ambiente marino (Clark et al.,

2016). Quedan muchas preguntas sobre el destino, la degradación, la interacción y los efectos invisibles de los microplásticos en los ecosistemas marinos.

Para el caso de Colombia, al contar con cerca del 50% de territorio marítimo (Díaz, 2015), y no disponer de un informe total y detallado sobre el comportamiento de los microplásticos en las zonas costeras y áreas abiertas del Caribe y Pacífico colombiano, surge la necesidad de establecer planes de trabajo relacionados con esta temática. Es necesario resaltar que, en los últimos siete años, algunas instituciones locales han comenzado a preocuparse por este tema, lo que se ha visto reflejado en discusiones y mesas de trabajos nacionales e internacionales. Sin embargo, debe fortalecerse y preparar más personal científico y métodos de análisis que puedan establecer los efectos de estas partículas en el medio marino.

Teniendo en cuenta a Chaen y An (2017), quienes proponen cuatro áreas de actuación en las cuales debe centrarse las investigaciones globales, y al desconocimiento de esta temática Colombia, se proponen siete temáticas de investigación que permitan posteriormente recomendar estrategias de mitigación y áreas de acción emergentes en el estudio de los microplásticos en las zonas costeras más pobladas en Colombia como: Riohacha, Cartagena, Santa Marta, Barranquilla, Coveñas, Buenaventura, Tumaco entre otras. Entre las propuestas planteadas están:

- § Estandarizar los protocolos de muestreo y métodos analíticos, que permitan identificar con precisión los microplásticos y sustancias químicas asociadas que puedan causar daños en la salud de los ecosistemas marinos de Colombia.
- § Realizar una evaluación exhaustiva de la distribución y abundancia de microplásticos en los distintos compartimentos marinos de la región Caribe y Pacífico colombiano, incluyendo las fuentes, el movimiento con las corrientes y la velocidad de hundimiento.
- § Determinar a qué ritmo se descomponen los distintos tipos de plásticos y cómo se distribuyen los distintos tamaños una vez entran en el medio marino.
- § Conocer los microorganismos que pueden adherirse los microplásticos, y si esto tienen efectos

adversos sobre los ecosistemas marinos y la salud humana en Colombia.

- § Evaluar de forma integral la presencia de microplásticos en organismos recolectados del medio marino, y hasta qué punto se pueden bioacumular los contaminantes tóxicos de los microplásticos en tejidos de especies comerciales.
- § Investigar si los organismos marinos ingieren los microplásticos deliberadamente o de forma accidental.
- § Realizar estudios de transferencia trófica para determinar la capacidad de los microplásticos para transportar contaminantes a través de las redes alimentarias marinas, facilitando la bioacumulación de microplásticos y contaminantes asociados en depredadores de orden superior y sus efectos sobre la salud humana.

Este tipo de conocimiento sobre la problemática de los microplásticos, facilitará finalmente proponer evaluaciones de riesgo ecológico.

¿Cómo minimizar el problema de los microplásticos en los ecosistemas marinos de Colombia?

Es urgente aumentar la conciencia social en la responsabilidad de proteger los ecosistemas marinos y costeros de nuestro país, ya que la variedad de vida marina a primera vista, se encuentra en un panorama muy preocupante, con tendencias que aún no comprendemos de manera exacta frente a la problemática de los microplásticos; por tanto, es urgente disponer de medidas prioritarias, recomendaciones y propuestas que conlleven a alcanzar tal objetivo. Se reconoce que las actitudes y el comportamiento de las personas contribuyen significativamente a la entrada de los plásticos en el océano. Cualquier solución para la reducción de estas fuentes contaminantes debe tener en cuenta esta dimensión social. Esto es debido a que, cualquier intento de imponer una regulación sin la comprensión y aprobación del público, tiene poca probabilidad de eficacia (GESAMP, 2015).

Si bien las estrategias de mitigación frente a las problemáticas asociadas a los microplásticos deben basarse en estudios previos, y teniendo en cuenta que, este es un tema que está en crecimiento en

Colombia, se hace necesario buscar estrategias utilizadas a nivel internacional que puedan aplicarse en nuestro país o que puedan modificarse para tal fin. En la búsqueda de estrategias que puedan ser utilizadas en Colombia, se revisaron los trabajos de Elías (2015), Téllez-Maldonado (2012), Abramo-Masso (2018), Bocken et al. (2016), entre otros, quienes indican acciones y estrategias para reducir la problemática a nivel global.

A continuación se describen algunas de las estrategias que pueden utilizarse para enfrentar la amenaza de los microplásticos en los ecosistemas marinos colombianos:

- § Reducir la producción y consumo de productos de plásticos de un solo uso, que representan, una de las mayores amenazas de los ecosistemas a nivel global de nuestros tiempos.
- § Establecer programas de educación ambiental que permita a la ciudadanía transitar hacia la adopción de hábitos más sustentables, como la preferencia de uso de materiales biodegradables, especialmente en zonas costeras, que son las responsables de arrojar plásticos de gran tamaño.
- § Utilizar el plástico que finalizó su vida útil como un recurso valioso en lugar de un producto de desecho.
- § Incentivar a que nuevos investigadores aprendan metodologías de trabajo con microplásticos, con el fin de superar los vacíos de información que afectan al conocimiento de este material en los ambientes marinos de Colombia.
- § Regular procesos industriales que impliquen la manufactura, la distribución y el manejo de resinas vírgenes, su uso y disposición final de productos plásticos en general; aspecto que debe envolver políticas a nivel municipal, departamental, nacional e internacional, y debe incluir la participación activa de la industria plástica y la comunidad.
- § En lo posible, vestirse con prendas elaboradas de materiales naturales en lugar de telas sintéticas.
- § Adoptar la economía circular, que incluyen procesos como reducir materias primas, rediseñar los productos pensando en el concepto de reutilización o reciclaje, reemplazar los productos de un sólo uso cuando no sean prácticos, reutilizar los existentes otorgándoles usos alternativos, reciclar

para evitar que el plástico se convierta en residuo en la primera vuelta, y recuperar produciendo plásticos desde potenciales residuos. El fin supremo de la economía circular es reducir el uso de materias primas y disminuir la cantidad de residuos que se generan.

Conclusiones

El estudio de microplásticos es un área emergente en Colombia, los trabajos realizados ponen en evidencia la presencia de estas partículas en distintos compartimientos marinos, sin embargo, no se tiene certeza los efectos locales relacionadas con este material para el Caribe y Pacífico colombiano. La información compilada en este documento servirá como línea base, para descubrir si los microplásticos causan las mismas problemáticas escala nacional, como los que se producen a nivel global. Es necesario que se fortalezca esta área de actuación, y a la vez, promover una educación ambiental, que se vea reflejada en la responsabilidad de conservar y proteger los ecosistemas marinos y costeros, evitando estragos ambientales y la reducción de servicios ecosistémicos.

Referencias

- Abramo-Masso, Y., 2018. Iniciativa que reforma los artículos 9 y 100 de la Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos. *Database* Sistema de Información legislativa, Secretaría de Gobernación de México, disponible en: http://sil.gobernacion.gob.mx/Librerias/pp_ContentidoAsuntos.php?SID=ac525b214ba89a41ac0014e0fa747069&Clave=3549907; consultado: febrero de 2020.
- Acosta-Coley, I., Cabarcas Montalvo, M., Mallarino Miranda, L., Maldonado Rojas, W., Galvis Ballesteros, J., Olivero Verbel, J., 2021. Comparison of primary microplastics from Cartagena Bay and their toxicological evaluation using "*Caenorhabditis elegans*" as a biological model. In: 33rd Annual Conference and Abstracts of the International Society for Environmental Epidemiology. ISEE, Nueva York. DOI: 10.1289/isee.2021.P-142
- Acosta-Coley, I., Duran-Izquierdo, M., Rodríguez-Cavallo, E., Mercado-Camargo, J., Mendez-Cuadro, D., Olivero-Verbel, J., 2019a. Quantification of microplastics along the Caribbean Coastline of Colombia: pollution profile and biological effects on *Caenorhabditis elegans*. *Mar. Pollut. Bull.* 146, 574-583. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.084
- Acosta-Coley, I., Mendez-Cuadro, D., Rodríguez-Cavallo, E., de la Rosa, J., Olivero-Verbel, J., 2019b. Trace elements in microplastics in Cartagena: a hotspot for plastic pollution at the Caribbean. *Mar. Pollut. Bull.* 139, 402-411. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.016
- Acosta-Coley, I., Olivero-Verbel, J., 2015. Microplastics resin pellets on an urban tropical beach in Colombia. *J. Environ. Monit. Assess.* 187(7), 435-449. DOI: 10.1007/s10661-015-4602-7
- Anderson, J., Park, B., Palace, V., 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environ. Pollut.* 218, 269-280. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.074
- Andrady, A., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62(8), 1596-1605. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- Andrady, A., Neal, M., 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philos. Trans. Royal Soc. B* 364, 1977-1984. DOI: 10.1098/rstb.2008.0304
- Auta, H., Emenike, C., Fauziah, S., 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environ. Int.* 102, 165-176. DOI: 10.1016/j.envint.2017.02.013
- Ayram, C., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Buriticá, S., Ramírez, W., Corzo, G., 2020. Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecol. Indic.* 117(2020), 106630. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106630
- Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. Royal Soc. B* 364(1526), 1985-1998. DOI: 10.1098/rstb.2008.0205
- Bocken, N., de Pauw, I., Bakker, C., van der Grinten, B., 2016. Product design and business model strategies for a circular economy. *J. Ind. Prod. Eng.* 33(5), 308-320. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124
- Bouwmeester, H., Hollman, P., Peters, R., 2015. Potential health impact of environmentally released micro and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49(15), 8932-8947. DOI: 10.1021/acs.est.5b01090
- Browne, M., Crump, P., Niven, S., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45(21), 9175-9179. DOI: 10.1021/es201811s
- Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D., Thompson, R., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42(13), 5026-5031. DOI: 10.1021/es800249a
- Buchanan, J., 1971. Pollution by synthetic fibres. *Mar. Pollut. Bull.* 2(2), 23. DOI: 10.1016/0025-326X(71)90136-6

- Calderón, E., Hansen, P., 2018. Microplastics in the digestive tract of fish from the estuary Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Tesis de doctorado. Roskilde University, Roskilde, Dinamarca. DOI: 10.1007/s11270-019-4313-8
- Chae, Y., An, Y., 2017. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. *Mar. Pollut. Bull.* 124(2), 624-632. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.070
- Clark, J., Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Blackford, J., Lewis, C., Lenton, T., Galloway, T., 2016. Marine microplastic debris: a targeted plan for understanding and quantifying interactions with marine life. *Front. Ecol. Environ.* 14(6), 317-324. DOI: 10.1002/fee.1297
- Cole, M., Galloway, T., 2015. Ingestion of nanoplastics and microplastics by Pacific oyster larvae. *Environ. Sci. Technol.* 49(24), 14625-14632. DOI: 10.1021/acs.est.5b04099
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 62(12), 2588-2597. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- Correa-Herrera, T., Barletta, M., Lima, A., Jiménez-Segura, L., Arango-Sánchez, L., 2017. Spatial distribution and seasonality of ichthyoplankton and anthropogenic debris in a river delta in the Caribbean Sea. *J. Fish Biol.* 90(4), 1356-1387. DOI: 10.1111/jfb.13243
- Crawford, C., Quinn, B., 2017. Microplastic identification techniques. In: Crawford, C., Quinn, B., (Eds.), *Microplastic pollutants*. Elsevier, Amsterdam, Holanda. pp. 159-178. DOI: 10.1016/B978-0-12-809406-8.00007-4
- Darnerud, P., 2003. Toxic effects of brominated flame retardants in man and wildlife. *Environ. Int.* 29(6), 841-853. DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00107-7
- Díaz Cano, M., 2015. Afectación y protección de ecosistemas marino-costeros en Colombia. *Verbum* 10(10), 95-116.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R., Aldridge, D., 2015. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.* 75, 63-82. DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00107-7
- Elías, R., 2015. Mar de plástico: una revisión del plástico en el mar. *Rev. Investig. Des. Pesq.* 27, 83-105.
- Frias, J., Nash, R., 2019. Microplastics: finding a consensus on the definition. *Mar. Poll. Bull.* 138, 145-147. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022
- Garcés-Ordóñez, O., Bayona Arenas, M., 2019. Impacts of marine debris contamination in the mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Rev. Cienc. Mar. Cost.* 11(2), 145-165. DOI: 10.15359/revmar.11-2.8
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V., Granados-Briceño, A., García, L., Díaz, L., 2019. Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Mar. Pollut. Bull.* 145, 455-462. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.058
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L., Cardoso, R., Cardozo, B., dos Anjos, R., 2020a. Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. *Environ. Pollut.* 267, 115495. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115495
- Garcés-Ordóñez, O., Díaz, L., Cardoso, R., Muniz, M., 2020b. The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111558. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111558
- Garcés-Ordóñez, O., Mejía-Esquivia, K., Sierra-Labastidas, T., Patiño, A., Blandón, L., Espinoza, L., 2020c. Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem in Cispatá, Colombian Caribbean. *Mar. Pollut. Bull.* 154, 111085. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111085
- Galloway, T., Cole, M., Lewis, C., 2017. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecol. Evol.* 1(5), 0116. DOI: 10.1038/s41559-017-0116
- GESAMP. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Rep. Stud. Londres.
- Graham, E., Thompson, J., 2009. Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 368(1), 22-29. DOI: 10.1016/j.jembe.2008.09.007
- Harrison, J., Schratzberger, M., Sapp, M., Osborn, A., 2014. Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms. *BMC Microbiol.* 14(1), 232. DOI: 10.1186/s12866-014-0232-4
- Ivar do Sul, J., Costa, M., 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environ. Pollut.* 185, 352-364. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.036
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347(6223), 768-771. DOI: 10.1126/science.1260352
- Lebreton, L., Van der Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Commun.* 8, 15611. DOI: 10.1038/ncomms15611
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K., He, D., 2018. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode

- Caenorhabditis elegans*. Sci. Total Environ. 619-620, 1-8. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.103
- Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., Zhang, H., 2020. Characteristics of plastic pollution in the environment: A review. Bull. Environ. Contam. Toxicol. DOI: 10.1007/s00128-020-02820-1
- Ma, Y., Wang, L., Wang, T., Chen, Q., Ji, R., 2020. Microplastics as vectors of chemicals and microorganisms in the environment. In: Bolan, N., Kirkham, M.B., Halsband, C., Nuggeoda, D., Ok, Y. (Eds.), Particulate plastics in terrestrial and aquatic environments. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 209-230. DOI: 10.1201/9781003053071-17
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D., 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. BMJ 339, b2535. DOI: 10.1136/bmj.b2535
- Moore, C., 2008. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, longterm threat. J. Environ. Res. 108(2),131-139. DOI: 10.1016/j.envres.2008.07.025
- Moore, C., Moore, S., Leecaster, M., Weisberg, S., 2001. A comparison of plastic and plankton in the north Pacific central gyre. Mar. Pollut. Bull. 42(12), 1297-1300. DOI: 10.1016/S0025-326X(01)00114-X
- Oberbeckmann, S., Löder, M., Labrenz, M., 2015. Marine microplastic-associated biofilms—a review. Environ. Chem. 12(5), 551-562. DOI: 10.1071/EN15069
- Oliveira, M., Ribeiro, A., Hylland, K., Guilhermino, L., 2013. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). Ecol. Indic. 34, 641-647. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.06.019
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J., Gallardo, C., Ordóñez, O., Henostroza, A., Laaz, E., Mizraji, R., Mojica, H., Haro, V., Medina, L., Preciado, M., Sobral, P., Urbina, M., Thiel, M., 2018. Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. Mar. Pollut. Bull. 127, 211-216. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.12.016
- Paerl, H., 1975. Microbial attachment to particles in marine and freshwater ecosystems. Microb. Ecol. 2, 73-83. DOI: 10.1007/BF02010382
- Plastic Europe, 2021. Plásticos- Situación en 2020, un análisis de los datos sobre la producción, demanda y residuos de plástico en Europa. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/4803-plasticos-situacion-en-2020>; consultado: septiembre, 2021.
- Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras, J., Arana, V., Mantilla-Barbosa, E., Gracia, A., Mne-doza, A., Neal, W., Williams, A., Micallef, A., 2021. Microplastics pollution on colombian Central Caribbean beaches. Mar. Pollut. Bull. 170, 112685. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112685
- Rehse, S., Kloas, W., Zarfl, C., 2016. Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of *Daphnia magna*. Chemosphere 153, 91-99. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.133
- Rojo-Nieto, E., Montoto, T., 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Ecologistas en Acción, Madrid.
- Rummel, C., Jahnke, A., Gorokhova, E., Kühnel, D., Schmitt-Jansen, M., 2017. Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment. Environ. Sci. Technol. 4, 258-267. DOI: 10.1021/acs.estlett.7b00164
- Sarkar, D., Das Sarkar, S., Manna, R., Das, B., 2020. Microplastic pollution: threat to Indian river system. Everyman's Science 54(6), 378-384.
- Sarria-Villa, R., Gallo-Corredor, J., 2016. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. J. Cienc. Ing. 8(1), 21-27.
- Song, Y., Hong, S., Jang, M., Kang, J., Kwon, O., Han, G., Shim, W., 2014. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. Environ. Sci. Technol. 48(16), 9014-9021. DOI: 10.1021/es501757s
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M., Goïc, N., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Pont, I., Soudant, P., Huvent, A., 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. Proc. Natl. Acad. Sci. U S A 113(9), 2430-2435. DOI: 10.1073/pnas.1519019113
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M., Watanuki, Y., 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of sea birds ingesting marine plastics. Mar. Pollut. Bull. 69(1-2), 219-222. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.010
- Téllez-Maldonado, A., 2012. La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. Tesis de maestría. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, DC.
- Thompson, R., Moore, C., Vom Saal, F., Swan, S., 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. Philos. Trans. Royal Soc. B: Biol. Sci. 364(1526), 2153-2166. DOI: 10.1098/rstb.2009.0053
- Tosetto, L., Williamson, J., Brown, C., 2017. Trophic transfer of microplastics does not affect fish personality. Anim. Behav. 123,159-167. DOI: 10.1016/j.anbehav.2016.10.035

- Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M., Janssen, C., 2015. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ. Pollut.* 199, 10-17. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.01.008
- Vásquez-Molano, D., Molina, A., Duque, G., 2021. Distribución espacial y aumento a través del tiempo de microplásticos en sedimentos de la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Bol. Investig. Mar. Cost.* 50(1), 27-42. DOI: 10.25268/bimc.inve-mar.2021.50.1.1021
- Vethaak, A., Legler, J., 2021. Microplastics and human health. *Science* 371(6530), 672-674. DOI: 10.1126/science.abe5041
- Wagner, M., Scherer, C., Álvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G., 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environ. Sci. Eur.* 26(12),1-9. DOI: 10.1186/s12302-014-0012-7
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., Li, M., 2016. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Mar. Environ. Res.* 113, 7-17. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.10.014
- Watts, A., Lewis, C., Goodhead, R., Beckett, S., Moger, J., Tyler, C., 2014. Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*. *Environ. Sci. Technol.* 48(15), 8823-8830. DOI: 10.1021/es501090e
- Wright, S., Thompson, R., Galloway, T., 2013. The physical impact of microplastics on marine organisms: a review. *Environ. Pollut.* 178, 483-492. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.031
- Zamora-Saenz, I., 2018. Iniciativas legislativas para reducir la contaminación marina por residuos plásticos. *Mirada Legislativa* 146, 1-18.
- Zettler, E., Mincer, T., Amaral-Zettler, L., 2013. Life in the "plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.* 47(13), 7137-7146. DOI: 10.1021/es401288x
- Zhang, F., Man, Y., Mo, W., Man, K., Wong, M., 2020. Direct and indirect effects of microplastics on bivalves, with a focus on edible species: A mini-review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 50(20), 2109-2143. DOI: 10.1080/10643389.2019.1700752