

Bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos en la fauna íctica

Diana Lorena Arias Zapata

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Química Ambiental

Directora

Yaneth Quintero López

Magíster en Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Especialización en Química Ambiental

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Dedicado a mis padres con mucho agradecimiento por su apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida, por ser motores y motivación en mis proyectos, por guiarme y ayudarme siempre, y a mi hermano que ahora me cuida desde el cielo y me llena de fuerza.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su apoyo y motivación, y a todos aquellos que contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

Introducción	7
1. Marco Teórico.....	11
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo General	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. Bioacumulación y Grado de Toxicidad	18
4. Mecanismos mediante los cuales los microplásticos ingresan a la fauna íctica	31
5. Medidas de mitigación internacionales.....	38
5.1 Conceptos globales, educación y divulgación	38
5.2 Nuevas técnicas de recuperación oceánicas.....	38
5.3 Mr. Trash Wheel.	39
5.4 Reemplazo del plástico	39
5.5 Recolección costera y reutilización del plástico	40
6. Conclusiones	40
Recomendaciones	42
Referencias Bibliográficas	43

Resumen

Título: Bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos en la fauna íctica*

Autor: Diana Lorena Arias Zapata**

Palabras Clave: Microplástico, bioacumulación, toxicidad

Descripción:

La contaminación plástica es omnipresente siendo reportada desde residuos plásticos grandes que flotan en la superficie hasta microplásticos (<5 mm) degradados en las columnas de agua en todos los mares y zonas costeras del planeta (Eriksen et al., 2014), incluyendo la Antártida (Waller et al., 2017). Se ha convertido en una amenaza eminente no solo para todos los ambientes naturales y la vida marina (Cressey, 2016); sino que también por efectos de bioacumulación a través de las cadenas tróficas (Haward, 2018), en última instancia afecta de manera directa la salud humana (Alfaro-Núñez, Alonzo, 2019).

Investigaciones recientes sugieren que cuando los compuestos plásticos se encuentran en el océano, presentan propiedades para absorber o liberar contaminantes presentes en el agua (Zarfl et al., 2011). En el momento que este material se fragmenta por la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos (Christoph et al., 2016), genera en parte microplásticos, considerados como las partículas menores a cinco milímetros (Lusher et al., 2017; Barrows et al., 2018; Rochman, 2018). Estas micropartículas pueden introducir los contaminantes asociados a las cadenas alimenticias (Sussarellu et al., 2016; Hernández et al., 2018), o incluso circular u obstruir los tractos digestivos de copépodos (Cole et al., 2015), otros invertebrados (Mishra et al., 2019) y vertebrados marinos (Van Franeker y Law, 2015), afectando a esta biodiversidad acuática (Barraza Sandoval et al., 2021).

Mediante esta investigación se busca describir el grado de toxicidad producido por la bioacumulación de microplásticos en la fauna íctica de aguas marinas, a través de la revisión de diferentes investigaciones realizadas.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Directora: Yaneth Quintero López. Magíster en Química

Abstract

Title: Bioaccumulation and degree of toxicity of microplastics in fish fauna*

Author(s): Diana Lorena Arias Zapata**

Key Words: Microplastic, bioaccumulation, toxicity

Description:

Plastic pollution is omnipresent, being reported from large plastic debris floating on the surface to microplastics (<5 mm) degraded in the water columns in all seas and coastal areas of the planet (Eriksen et al., 2014), including Antarctica. (Waller et al., 2017). It has become an eminent threat not only to all natural environments and marine life (Cressey, 2016); but also due to bioaccumulation effects through food chains (Haward, 2018), ultimately directly affecting human health (Alfaro-Núñez, Alonzo, 2019).

Recent research suggests that when plastic compounds are found in the ocean, they have properties to absorb or release contaminants present in the water (Zarfl et al., 2011). When this material breaks down due to the interaction of physical, chemical and biological processes (Christoph et al., 2016), it partly generates microplastics, considered to be particles smaller than five millimeters (Lusher et al., 2017; Barrows et al. al., 2018; Rockman, 2018). These microparticles can introduce contaminants associated with food chains (Sussarellu et al., 2016; Hernández et al., 2018), or even circulate or obstruct the digestive tracts of copepods (Cole et al., 2015), other invertebrates (Mishra et al., 2019) and marine vertebrates (Van Franeker and Law, 2015), affecting this aquatic biodiversity (Barraza Sandoval et al., 2021).

This research seeks to describe the degree of toxicity produced by the bioaccumulation of microplastics in fish fauna of marine waters, through the review of different investigations carried out.

* Degree Work

** Science Faculty. Chemistry School. Specialization in Environmental Chemistry. Director: Yaneth Quintero López. Master in Chemistry

Introducción

Los microplásticos son fragmentos de plástico de un tamaño entre 0.1 μm y 5 mm de tamaño, en ocasiones apenas se pueden observar a simple vista. Según su origen, los microplásticos (MPs) se clasifican en primarios y secundarios. Los MPs primarios son aquellos producidos de un tamaño menor a 5 mm para ser usados como productos cosméticos o en productos para el cuidado personal como la pasta de dientes (Yang et al., 2020), vectores de fármacos y en aplicaciones industriales o de ingeniería (Amelia et al., 2021). Por otro lado, los MPs secundarios derivan de la fragmentación de piezas grandes de plástico mediante procesos químicos (fotólisis, hidrólisis, y termólisis), mecánicos (abrasión y oleaje) o biológicos (bacterias y hongos) (Amelia et al., 2021; Smith et al., 2018). Con el tiempo, los MPs primarios y secundarios contaminan la tierra, el aire y el agua; además, tienen el potencial de afectar negativamente a los animales y a nosotros los seres humanos. (Castro-García et al., 2021)

Los estudios más recientes han evidenciado que el microplástico es actualmente un material ubicuo en ambientes dulceacuícolas y marinos (Amelia et al., 2021; Du et al., 2021). Las principales fuentes de MPs en estos ecosistemas incluyen: plantas de tratamiento de aguas residuales, vertederos, riego, campos agrícolas, efluentes industriales, y las aguas residuales domésticas (Amelia et al., 2021). Otras fuentes de MPs son la deposición atmosférica, fertilizantes, césped artificial, por carretera, transporte aéreo, los textiles, las actividades costeras, el turismo, la pesca comercial, embarcaciones marinas, y la acuicultura (Ugwuet al., 2021).

Debido al impacto que tienen los MPs sobre todos los ecosistemas, resulta importante comprender su fuente, distribución, transporte, clasificación, hasta las posibles soluciones encaminadas a su disminución y posible erradicación. (Castro-García et al., 2021)

Una vez que los microplásticos se encuentran en océanos, ríos o cualquier otro ecosistema acuático, estos pueden ser ingeridos por la fauna acuática más pequeña, como el zooplancton, peces pequeños, los organismos más grandes, como los lobos marinos o ballenas (Carbery et al., 2018). Los peces son uno de los grupos de vertebrados más afectados por la presencia de microplásticos (Kutralam-Muniasamy et al., 2020), ellos pueden ingerir los microplásticos al confundirlos con alimento flotante en la columna de agua, y también pueden obtenerlos por bioacumulación al ingerir a presas que contienen microplásticos. La ingesta directa o indirecta de microplásticos por la fauna acuática de niveles tróficos inferiores, como zooplancton o peces, representan una vía de entrada y acumulación de MPs en la cadena alimenticia. Los impactos negativos de esta ingesta y bioacumulación no están del todo dilucidados y es necesario realizar más estudios enfocados al efecto que generan los MPs a nivel celular y molecular (Castro-García et al., 2021).

En el ambiente marino la cantidad de plástico acumulado es aún incierto, sin embargo, se estima que en la actualidad hay más de 5 billones de piezas plásticas flotando en hábitats pelágicos (Eriksen et al. 2014). A esto debe agregarse que los polímeros plásticos muestran una degradación biológica lenta, por lo que permanecen en el ambiente durante cientos a miles de años, donde se descomponen en pedazos más pequeños debido a la radiación ultravioleta, fuerzas físicas e hidrólisis; por lo tanto, las partículas de plástico se acumulan como pequeños fragmentos (microplástico < 5 mm, mesoplástico 5 - 25 mm, macroplástico > 25 mm) (Romeo et al. 2015). Debido a su pequeño tamaño y persistencia en el ambiente, estos fragmentos pueden ser ingeridos por una variedad de organismos y varios estudios ya han informado sobre la ingestión de microplásticos para más de 100 especies de peces y mamíferos marinos (Lusher,

McHugh & Thompson 2013; Rochman et al. 2014; Fossi et al. 2014), (Escobar Condor et al., 2019).

Adicionalmente, se debe mencionar los efectos negativos que generan para el ambiente marino y los organismos que habitan en él, esto incluye el enredo, la ingestión y la posible toxicidad (Eriksen et al. 2014). Los riesgos de toxicidad provienen de componentes que son agregados al mismo material en el proceso productivo (bisfenol A, ftalatos, nonilfenol y ésteres de difenilo polibromados), de los químicos y contaminantes de su superficie (metales y contaminantes orgánicos persistentes) y de ciertos polímeros que funcionan como aditivos para conferirle estabilidad, durabilidad y resistencia a la degradación; sin embargo, estos no se unen al material y pueden filtrarse al ambiente una vez degradado el plástico. De este modo, ingresan a las células de los organismos e interactúan con las moléculas, causando interrupciones del sistema endocrino y a la fisiología del organismo (Alomar et al. 2017), (Escobar Condor et al., 2019).

Los MPs se acumulan en los ecosistemas naturales más diversos (Barnes et al. 2009): desde el agua dulce (Li et al. 2018), estuarios y manglares (Garcés-Ordóñez et al. 2019; Deng et al. 2021), zonas costeras (Browne et al. 2011) y en el ambiente marino, tanto en sedimentos como en agua (Andrady 2011; Van Cauwenberghe et al. 2013). La ingesta de MPS por parte de los peces puede darse de forma directa en el agua o indirecta cuando por sus altas concentraciones o por sus colores son confundidos con presas (Setälä et al. 2014). Boerger et al. (2010) indica que la similitud entre la presa y los MPs podrían hacer más propensa la ingestión de estos tanto para el plancton como para los peces. El plancton es el nivel más bajo de esta cadena, por ello es probable que la transferencia de MPS ocurra desde este eslabón hacia los consumidores secundarios (Botterell et al. 2019). Cabe mencionar que la ingesta de MPs trae

consigo problemas fisiológicos en organismos acuáticos y terrestres, y aunque los efectos siguen siendo poco entendidos, se conoce que la presencia de MPS disminuye el consumo de las presas, la reproducción, el crecimiento y la sobrevivencia de las especies (Foley et al. 2018). Se ha podido establecer, además, que algunos factores biológicos tales como el hábito alimenticio pueden influenciar la capacidad de acumulación de MPs en especies de peces (Mizraji et al. 2017; García et al. 2020), por lo que resulta crítico contemplar este factor en los programas de monitoreo (Mazariegos-Ortíz et al., 2021).

De acuerdo a su densidad, algunos MPs flotan o se mantienen en la columna de agua, mientras que otros sedimentan acumulándose en el fondo de los ecosistemas acuáticos. Dado que los peces habitan diferentes estratos dentro un ecosistema, la ingesta en relación al hábitat toma relevancia, como lo demuestra Savoca et al. (2021) en un estudio en el que 386 de 555 especies de peces marinos consumieron MPs. Estos resultados revelaron que es probable que los peces pelágicos ingirieran plástico en la columna de agua, mientras que los demersales los obtuviesen en aguas poco profundas (Mazariegos-Ortíz et al., 2021).

Esta monografía tiene por objetivo brindar una visión más integrada acerca del efecto que tiene la bioacumulación y el grado de toxicidad de microplásticos en la fauna íctica de aguas marinas, además de posibles problemáticas asociadas en los ecosistemas marinos, mediante la revisión de diferentes investigaciones para poder contribuir con aportes significativos en la difusión y así mismo dar a conocer las posibilidades existentes para mitigar los efectos negativos de los mismos.

1. Marco Teórico

Es importante mencionar que, algunos investigadores afirman que los plásticos pueden durar potencialmente de cientos a miles de años en el océano debido a sus propiedades químicas únicas. Por consiguiente, debido a las propiedades de los MPs, como la flotabilidad y la durabilidad extrema, los polímeros sintéticos están ampliamente distribuidos en ríos, lagos y océanos de todo el mundo (Du et al., 2021). En el océano, se ha detectado la acumulación de MPs en el Atlántico, Pacífico, el Mar Caribe, Mar Mediterráneo, e incluso en regiones abisales y polares (Du et al., 2021), (Castro-García et al., 2021).

Además de los entornos marinos, también se han encontrado MPs en agua dulce, y la contaminación es tan severa como en el océano y tiene mecanismos similares de entrada, dispersión y bioacumulación (figura 3B). Algunas investigaciones han informado de la ocurrencia mundial de MPs en el río Rin, uno de los ríos europeos más grandes, ríos urbanos (por ejemplo, sur de California) y ríos estuarinos (por ejemplo, La Bahía de Chesapeake) (Du et al., 2021). Así mismo, en sedimentos de agua dulce y ambientes terrestres, se ha encontrado una amplia distribución y alta concentración de contaminación por MPs en todo el mundo (Du et al., 2021). En consecuencia, se puede observar cómo los microplásticos se liberan de diferentes fuentes, interactuando entonces con múltiples sistemas ambientales, como agua marina, agua dulce, agua subterránea, aire, sedimentos y suelos, por lo tanto, debido a su gran producción y rápida expansión, existe una necesidad crucial de una revisión crítica de la distribución, transporte y acumulación de los MPs en el medio ambiente (Castro-García et al., 2021).

La producción mundial de plástico ha aumentado rápidamente desde que comenzó la producción en masa en la década de 1950 y actualmente supera los 288 millones de toneladas por año. Aproximadamente el 10% de ese plástico termina en el océano. Debido a la continua

entrada de basura plástica a los océanos, es difícil conocer la cantidad de MPs que se encuentran actualmente en estos ecosistemas; sin embargo, un estudio realizado recientemente, indica que existen más de 5 trillones de partículas de plástico en la superficie del mar, lo que es un equivalente a 268,940 toneladas de este material flotando en el océano (Ugwuet al., 2021). (Castro-García et al., 2021).

Los microplásticos están en todos los ecosistemas y se acumulan a una velocidad creciente en ambientes acuáticos, como lagos y ríos, que actúan como recolectores de plásticos del entorno (Koelmans et al.2019; Zhang et al.2019). La toxicidad de los MPs preocupa mucho a la comunidad científica, debido a la abundancia y ubiquidad de la contaminación. Los microplásticos contienen aditivos para mejorar o modificar las propiedades y la procesabilidad de los polímeros, incluyendo plastificantes, retardantes de llama, antioxidantes, estabilizadores térmicos, estabilizadores ultravioletas, biocidas, colorantes, rellenos, agentes de soplado, lubricantes y auxiliares de procesamiento (Andrady, 2017); es decir, una mezcla de productos químicos añadidos durante la fabricación, que pueden liberarse al ambiente. Se ha observado que diferentes especies animales ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales. Los expertos opinan que estos aditivos pueden causar toxicidad y bio-acumularse en los tejidos. Estos tóxicos pueden llegar al ser humano y potencialmente causar daño. En estudios con modelos de animales mamíferos se encontró que los MPs pueden afectar células vivas, como las células dendríticas, el sistema linfático y circulatorio, aunque se necesitan más estudios para establecer una relación directa entre la presencia de los MPs y la toxicidad o enfermedades en el ser humano (Eerkes-Medrano et al., 2015). Los microplásticos también absorben y/o adsorben eficazmente sustancias persistentes, bioacumulables y tóxicas (PBT) presentes en el medio marino. Además, los microplásticos son un sustrato sobre el que viven organismos marinos como

invertebrados, microalgas, bacterias, hongos o virus, algunos de los cuales representan patógenos potenciales. Por lo tanto, se cree que los MPs pueden ser considerados como vectores de enfermedades. Inclusive, se ha encontrado que los MPs pueden adsorber y acumular antibióticos de los ecosistemas acuáticos (Li et al., 2018a), (Castro-García et al., 2021).

Los microplásticos contienen un compuesto químico llamado Polibutileno tereftalato (PBT), el cual posee una baja solubilidad en agua de mar y por lo tanto, se concentra en la superficie donde puede ser absorbida por filtración y bioacumularse en los organismos. La ingesta de microplásticos, así como la de presas contaminadas y macroplásticos, provoca una bioacumulación de toxinas químicas en los organismos filtradores y depredadores. (Beatriz Tintaré, 2016, p.4), (Molina Huaranga & Rosales Oscoco, 2019).

Por otra parte, la Bioacumulación se define como la captación de químico o sustancia tóxica por un organismo desde el medio biótico y/o abiótico concentrándose en el organismo (Ofelia Escobar, 2010; p. 8), (Molina Huaranga & Rosales Oscoco, 2019).

Las basuras marinas están presentes a lo largo y ancho de nuestro planeta, y son amenaza para los ecosistemas tanto marinos como de agua dulce. A pesar de existir distintos tipos de basura marina como vidrio, papel, cartón, etc., estudios demuestran que más del 80% está compuesto por plástico (Elisa Rojo-Nieto y Tania Montoto, 2017, p.4), (Molina Huaranga & Rosales Oscoco, 2019).

Un segundo aspecto, relacionado con la ingesta de microplásticos es la adsorción de todo este tipo de toxinas en los tejidos animales. Por ejemplo, se han encontrado focas con concentraciones de PCBs por encima de los 1370 ng/g (nanogramos) debido a que las focas consumen pescado contaminado con químicos tóxicos y algunas veces plásticos (Sarria-Villa, Andrés y Gallo-Corredor, José Antonio, 2016, p.25), (Molina Huaranga & Rosales Oscoco, 2019).

Por otra parte, entre los efectos secundarios del consumo de los microplásticos por parte de organismos marinos está: la reducción de la capacidad reproductiva, la capacidad de escape de los depredadores, y la disminución de la capacidad de alimentarse. Daños a la piel y aparición de úlceras en las capas internas de los órganos, han sido encontrados en algunos vertebrados marinos. Por otra parte, la acumulación de microplásticos puede conducir a la transferencia de contaminantes peligrosos que pueden estar presentes en los microplásticos que pueden transportarse desde el agua hasta los organismos. El potente efecto adverso de los microplásticos depende del tamaño de las partículas. Por ejemplo, los nanomateriales (partículas menores de 0.000003937 pulgadas) pueden causar daño a los pulmones, inflamación y daño celular en los ratones (Sarria-Villa, Andrés y Gallo-Corredor, José Antonio, 2016, p.25), (Molina Huaranga & Rosales Oscoco, 2019).

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) estima 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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 de la bahía en 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 (Rodríguez, Pérez, & Escobar, 2021). 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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Describir la bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos en la fauna íctica.

2.2 Objetivos Específicos

Establecer los mecanismos mediante los cuales los microplásticos ingresan a la fauna íctica.

Analizar los efectos de la bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos con respecto a la fauna íctica.

Revisar las posibles opciones que se hayan planteado para mitigar los efectos negativos de los microplásticos en la fauna íctica.

3. Bioacumulación y Grado de Toxicidad

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. (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 lixivarse 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; Tosetto 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). (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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* (Günter, 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. (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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). (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

- 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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

- 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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

- En lo posible, vestirse con prendas elaboradas de materiales naturales en lugar de telas sintéticas (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

- 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 (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

Tomando en consideración el estado del arte como estrategia metodológica para el análisis epistemológico, se puede indicar que la contaminación marina es generada por la basura en forma de desechos sólidos flotantes, como botellas plásticas, fundas, sorbetes, llantas, redes de pesca, madera, y otros, a este tipo de desechos se suma en la actualidad los equipos de protección personal que son utilizados para protegerse del contagio del virus SARS-Co-2 o más conocido como COVID-19. Por diversas fuentes llegan los desechos a los océanos, sean por actividades que se realizan en el propio mar o desde las orillas de los perfiles costeros. La basura marina se encuentra presente en lugares tan remotos como en la Antártida, donde se presumiría que no debe existir presencia de desechos sólidos contaminantes, afectando directamente a la biodiversidad marina, los ecosistemas y al hombre, esta problemática se encuentra presente en todos los océanos y mares a nivel mundial (Molina et al., 2021).

Una vez en el medio ambiente, el plástico absorbe otras sustancias químicas tóxicas, se descompone en partículas diminutas, y crea una extensa contaminación o entra en la cadena alimenticia mediante su ingesta por la fauna marina. ¡Se han encontrado restos de plástico en la sal marina, el agua potable, o incluso en la cerveza! Millones de toneladas de plástico llegan a nuestros océanos cada año y, a menos que frenemos este flujo de residuos plásticos desde su origen, nos encontraremos en un punto sin retorno a nivel planetario (Greenpeace, 2018), (Molina et al., 2021).

10 estudios incluidos en esta revisión fueron publicados en los años 2016 (1), 2017(4), 2019 (3) y 2021 (2). Entre sus países de origen se encuentra uno de Chile, uno de Colombia, tres de Ecuador, dos de Perú, y tres que abarcan América Latina. En cuanto al tipo de estudio, cuatro artículos de investigación, un libro científico, una tesis de dirección de posgrado, un informe internacional, una nota científica, y dos artículos originales.

En este breve estudio se ha revisado la información con metodología mixta, para verificar la eficacia se ha incorporado un estudio sobre la presencia de microplásticos, cuya muestra considerada fueron cuatro playas peruanas, donde se evidenció la presencia de fragmentos de plásticos duros perteneciente a la clasificación de plásticos secundarios menores a 5 mm, permitiendo determinar su distribución en el perfil costero y su biodisponibilidad en la biota marina (Molina et al., 2021).

El primer estudio (2021) fue realizado por Gustavo Almone Arredonde, profesional especialista de la Armada de Chile, se refiere a la contaminación marina presente en los océanos es una realidad que ha ido en aumento en el último siglo, la formación de las islas de plásticos al frente de los continentes son generadas desde los perfiles costeros a causa de la mala disposición final, la falta de campañas educativas para la concienciación de la población y de las débiles políticas públicas de los gobiernos. Debido a todas estas inacciones las organizaciones de la comunidad internacional han puestos en marcha varios programas para mitigar la contaminación marina (Molina et al., 2021).

El segundo estudio (2017) la información permite definir de forma clara qué es la basura marina, de donde se origina, la cantidad exorbitante con un máximo de 8 millones de toneladas de desechos que ingresan a los océanos, constatándose que a pesar de existir diferentes tipos de basura marina los estudios indican que los plásticos representan más del 80% (Molina et al., 2021).

El tercer estudio (2016) hace referencia al uso de los plásticos, indica que éstos desde el inicio de su empleo han traído beneficios a la humanidad, la problemática se presenta en el mal manejo de su disposición final, y que la misma va acompañada de los compuestos químicos tóxicos que forman parte de su composición, tales como el bisfenol-A y los bifenilos

policlorados. Los plásticos vertidos en los océanos se convierten en microplásticos, y son consumidos por los animales marinos que en muchas ocasiones le ocasionan la muerte, los microplásticos son confundidos por alimentos y son ingeridos por los peces generando una contaminación tóxica en cadena hacia los seres humanos. Motivo por el cual, se evidencia la urgente necesidad de reducir las fuentes y rutas de la disposición final de los plásticos y sus diferentes formas (Molina et al., 2021).

El cuarto estudio (2017) señala que se ha identificado la presencia de varios actores internacionales destacándose las Políticas del PNUMA, ente que coordina, formula e implementa programas ambientales, brindando cooperación científica, facilitando a los Estados medidas para el cuidado del medio ambiente, para mejorar su calidad de vida sin comprometer las futuras generaciones, a través de sus programas de prevención y protección de los océanos y mares, complementando con la buena intención de los Estados, Convenios, Acuerdos, que contribuyen al desarrollo de nuevas estrategias en la gestión de los desechos marinos, ratificándose que queda mucho por hacer frente a la gestión del vertimiento al mar de desechos plásticos generados desde tierra (Molina et al., 2021).

El quinto estudio (2019) de investigadores y analistas del Grupo Dalberg Advisors, en colaboración con la organización independiente de conservación World Wild Fund for Nature, ponen en manifiesto que el plástico realizado hasta antes del 2000 es igual que al hecho hasta el 2016, la contaminación terrestre, marina y del agua dulce han sido creadas por el ingreso indebido y mal manejo de los desechos, actualmente tienen características omnipresentes en la naturaleza, lamentablemente los que se han beneficiado de la elaboración del plástico no asumen su responsabilidad social con resultados funestos y de forma irresponsables se incrementaran a escalas mayores en el año 2030 ya que se tiene previsto el doble de la contaminación. Para salvar

a nuestro planeta se requiere de acciones inmediatas, como establecer legislaciones sólidas y que existan esquemas comerciales que incluya a los productores y consumidores de plásticos para que asuman la responsabilidad de revertir esta tragedia y se logre incentivar los modelos de la reutilización, el reciclaje, y las alternativas sostenibles al uso de plásticos (Molina et al., 2021).

El sexto estudio (2017) nota científica realizada en cuatro playas peruanas nos demuestran la excesiva presencia de microplásticos por metro cuadrado, aunque no todos son visibles la contaminación física existe, los mismos se mezclan con los plásticos visibles y ambos son transportados por los giros oceánicos hasta alta mar, sumando como uno de los causantes la ingesta de plásticos por la biota marina (Molina et al., 2021).

El séptimo estudio (2021) manifiesta que la crisis sanitaria producida por la pandemia COVID-19 no solo ha generado problemas de salud, sino también ha incrementado la contaminación ambiental por desechos sólidos, específicamente con los elementos de protección personal que se utilizan diariamente para prevenir los contagios, y que están fabricadas de polipropileno, los mismos incrementan la contaminación ya existente por desechos plásticos y ambos tiene el mismo origen, es decir una mala disposición final generada desde la población (Molina et al., 2021).

El octavo estudio (2019) de acuerdo a los lineamientos de la agenda 2030, para el cuidado y protección del medio ambiente, los Estados han aplicado de forma parcial sus políticas para la protección del medio ambiente y no contaminación del mismo, han dictado normas prohibitivas y restrictivas cuyos resultados no han sido eficaces, al no ser efectivas las acciones tomadas, es recomendable aplicar el marketing sostenible como apoyo a programas de responsabilidad social que se han venido desarrollando por el sector privado, para concienciar a la sociedad sobre la mitigación de la contaminación marina (Molina et al., 2021).

El noveno estudio (2017) señala que actualmente en los asentamientos poblacionales de américa del sur, no se está realizando una correcta recolección de residuos plásticos, lo cual está ocasionando riesgos de salud, seguridad e higiene ocupacional, y este proceso al ser ineficiente permite que una parte de estos desechos sean vertidos al mar, ratificando que el mismo, genera diferentes tipos de riesgos antes, durante y después de su disposición final (Molina et al., 2021).

El décimo estudio (2019) se refiere a la prevención de la contaminación marina en un sitio específico del perfil costero ecuatoriano, mediante el diseño y construcción de un prototipo recolector de residuos marinos para mitigar los desechos flotantes presentes en el mar, utilizando la creatividad y el conocimiento técnico, siendo pioneros en la realización de nuevos proyectos, desarrollando iniciativas al cuidado del medio ambiente marino (Molina et al., 2021).

El plástico fue fabricado para beneficio de la humanidad, pero las acciones de está han sido la causa de la contaminación debido a la mala disposición final, y a esto se la añade los compuestos químicos tóxicos que se presentan durante el proceso de degradación como los bifenilos. El plástico al degradarse se convierte en microplásticos, por lo que los animales marinos lo confunden con alimentos, estos al ser ingeridos les puede causar la muerte, y en el caso de los peces provoca intoxicación a los humanos por la cadena alimenticia. Esto activó la presencia de varios organismos internacionales con la intención de prevenir el cuidado del medio ambiente y la protección de los mares, destacándose el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente, con esto ratificándose que tenemos muchas acciones por tomar para prevenirlo (Molina et al., 2021).

Todo estudio debe tener un respaldo técnico cuantificable, por lo cual se ha considerado los datos de un informe internacional donde se puede identificar la excesiva presencia de microplástico por metro cuadrado en cada una de las cuatro playas analizadas. Aunque no todos

los desechos flotantes son visibles, la contaminación física es existente, debido a esto es necesario establecer políticas públicas y normas imperativas que abarquen todo el ciclo que comprende el plástico, como los proveedores de materia prima, fabricantes, comercializadores, consumidores e involucrados en su disposición final, con el propósito de que sean corresponsables de revertir esta tragedia, y lograr incentivar modelos de reciclaje sostenibles, ya que, de acuerdo a la tendencia de varios estudios estadísticos, en el 2030 se habrá triplicado el aumento de los desechos marinos (Molina et al., 2021).

Los Estados siguen los lineamientos de la Agenda del 2030 para el cuidado y la protección del medio ambiente, desarrollando normas preventivas que hasta la actualidad no ha sido suficientes para contrarrestar este tipo de contaminantes. A esto se suma la crisis sanitaria producida por la pandemia COVID-19, no solo afectando la salud humana directamente, sino de forma indirecta al medio marino por la mala disposición de los desechos generados del uso de los elementos de protección personal tales como las mascarillas, como complemento de esta problemática se debe consolidar la presencia del sector privado con el sector público y en conjunto aplicar el marketing sostenible, con la finalidad de concienciar a la sociedad sobre la mitigación de la contaminación marina. Tenemos claro que la contaminación marina por desechos plásticos es generada por el hombre, que se complementa con una ineficiente recolección de los desechos sólidos desde los asentamientos poblacionales causando muchos impactos negativos, no solo en el mar, sino también en la salud e higiene ocupacional de las personas que están relacionadas en el proceso de recolección, por lo tanto es necesario aplicar en la brevedad posible los conocimientos técnicos de especialistas, desarrollar nuevos proyectos de prevención, junto a otras iniciativas que sean necesarios para el cuidado del medio ambiente marino, es responsabilidad de todos actuar ya (Molina et al., 2021).

De acuerdo a lo informado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se estima que aproximadamente 12 millones de toneladas de plástico estarían navegando en el océano, en su largo proceso de degradación. Lo anterior, afectando naturalmente la salud de los océanos y sus ecosistemas, logrando ingresar finalmente a nuestra cadena alimenticia. La misma organización, estima que cerca de 200 kg de plástico ingresan al océano cada segundo. A este ritmo, para el año 2050, habrá más plástico que peces en el mar. Esta información es más alarmante si consideramos que el plástico no es biodegradable, y que la única forma de destruirlo es mediante la aplicación de calor (Geyer et al 2017), (Koch & Manley Barber, 2019).

Por esta misma razón, la misma ONU declaró el año 2017 a través de su programa de medio ambiente United Nations Environment Programme (UNEP o PNUMA en español), la guerra contra el plástico, lanzando una campaña global denominada Clean Seas, para dar término al problema de la basura marina. El objetivo de esta campaña es eliminar las fuentes de microplásticos en cosméticos y el uso excesivo de plástico de un solo uso (tales como bolsas o botellas plásticas) para el año 2022. Además, insta a los gobiernos para adoptar políticas que permitan reducir el uso de este elemento y para cambiar los hábitos de los consumidores de plástico, previendo que se haga un daño irreversible a los océanos. A la fecha 58 países, incluyendo Chile, son parte de esta campaña.

Una estadística relevante, es que sólo el 30% del material plástico fabricado a nivel mundial se encuentra actualmente en uso, ya que el 70% de éste ya pasó a ser desechado (Geyer et al 2017).

Finalmente, este problema ha incentivado el aumento en la creación de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) que luchan contra la contaminación acuática, ya sea a través de limpieza de playas locales y otras novedosas y originales técnicas. Sumado a lo anterior, a partir

del año 2008, la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante ha apoyado el “Día Internacional de Limpieza de Playas”, coordinando más de 100 limpiezas de playas anuales (Koch & Manley Barber, 2019).

Uno de los principales problemas de la basura plástica, es precisamente que no se degrada fácilmente (Sivan 2011), y la mayoría del plástico sólo se fragmenta en trozos más pequeños, denominado microplásticos, por acción de la luz y/o rayos ultravioletas. Consecuentemente, han ido aumentando y acumulándose en el medio ambiente terrestre y marino.

La principal preocupación actual en la comunidad científica es el efecto de la creciente cantidad de microplásticos en el océano, ya que éstos son confundidos por alimentos e ingeridos accidentalmente por una cantidad alarmante de fauna marina.

Además de los impactos físicos, existe una creciente preocupación por la salud humana como consecuencia de sustancias potencialmente tóxicas liberadas por los residuos plásticos, la que es ingerida por cientos de especies en todos los niveles de la trama trófica (Eriksen et al 2016), (Koch & Manley Barber, 2019).

El año 2001 cuando el capitán Charles Moore publicó en la revista *Marine Pollution Bulletin* su descubrimiento sobre la presencia de microplásticos en el giro subtropical del océano Pacífico norte, marcó un hito en el sentido que, a través de internet, redes sociales y la prensa se comenzó a hablar erróneamente de la existencia de una isla de basura en el océano pacífico, que sería el doble del tamaño que el estado de Texas. Cabe señalar, que si bien no existen islas de basura propiamente tal, sí existe acumulación de basura marina plástica en los giros subtropicales de los océanos, donde se tienden a acumular en la superficie en cantidades estimadas de hasta 250.000 toneladas, con conteos totales de microplásticos que se encontrarían

en el orden de los trillones; para luego pasar a distribuirse verticalmente en la columna de agua y finalmente hundirse, generando probables impactos en los ecosistemas marinos expuestos (Eriksen et al, 2016), (Koch & Manley Barber, 2019).

A modo de resumen, Kuhn et al (2015) efectuaron una evaluación global, reportando que a la fecha de su estudio un total de 557 especies de fauna marina habrían sido afectadas, incluyendo el 100% de las siete especies de tortugas marinas a nivel mundial (se han documentado por ejemplo ingestas de bolsas plásticas confundidas por medusas), el 66% de los mamíferos marinos (81 especies), y el 50% de aves marinas (406 especies). Las aves marinas fueron de las primeras especies en ser reportadas con afectaciones relacionadas con la ingesta de basura, generando obstrucciones en su sistema digestivo, úlceras e incluso muerte por inanición (Pierce et al., 2004, Ryan 1987), (Koch & Manley Barber, 2019).

Aterrizando las estadísticas a nuestro país, el año 2017 Ory et al, publicó en la revista *Science of the Total Environment*, un estudio donde se examinaron 20 estómagos de peces de la especie *Decapterus muroadsi* (Macarela) procedentes de la costa de Isla de Pascua, un verdadero hotspot de biodiversidad marina con especies únicas en el mundo; determinando que el 80% de éstos contenían de 1 a 5 fragmentos de microplásticos de color azul (menores a 5 mm.), lo cual se explicaría por el hecho de que su presa o alimento consiste en pequeños crustáceos denominados copépodos de este mismo color y tamaño. Esta evidencia sugiere que la problemática sería de mayor gravedad en aguas marinas del sector de los giros oceánicos, donde se acumularía mayor cantidad de basura (Koch & Manley Barber, 2019).

Por estos motivos, queda en evidencia que el problema de la basura plástica en el mar debe ser tratada en forma global, además de local, debiendo considerar que existen otras fuentes de microplásticos en el medio marino además de la basura, entre los que se encuentran algunos

cosméticos, productos de limpieza industrial, jabones exfoliantes y el plástico generado por el paulatino lavado de la ropa de poliéster (Koch & Manley Barber, 2019).

4. Mecanismos mediante los cuales los microplásticos ingresan a la fauna íctica

Los desechos plásticos plantean varios riesgos para la biota marina (Galloway et al., 2017). La ingestión puede ser peligrosa, causando lesiones digestivas, disminuyendo la eficiencia depredadora o induciendo efectos tóxicos (Barboza et al., 2018; de Sá et al., 2015; Moore, 2008; Teuten et al., 2007). Los microplásticos pueden adsorber los contaminantes disponibles en la columna de agua, como los contaminantes orgánicos persistentes (COP) (Frias et al., 2010; Oehlmann et al., 2009; Rochman et al., 2013) o metales pesados (Ashton et al., 2010); Holmes et al., 2012), que pueden bioacumularse y biomagnificarse aún más en la red alimentaria (Batel et al., 2016; Teuten et al., 2009). Además, los microplásticos pueden transferirse en la cadena trófica al depredar presas contaminadas (Chagnon et al., 2018; Ferreira et al., 2016, 2019a). La transferencia trófica ya ha sido señalada como un mecanismo de contaminación relevante para las especies estuarinas (Athey et al., 2020). (Justino et al., 2021).

Aunque aún se desconocen los efectos a largo plazo de la contaminación por microplásticos, la comunidad científica enfatiza continuamente la importancia de utilizar métodos de investigación confiables y replicables (Hermesen et al., 2018; Markic et al., 2020). Un enfoque útil para obtener plástico en la fauna marina se basa en protocolos de digestión química, que son eficientes y de bajo costo para trabajar (Karami et al., 2017; Kühn et al., 2017). Protocolos de digestión son una forma práctica y segura de extraer y aislar microplásticos en organismos, siendo ampliamente utilizados en la investigación de contaminación de peces por plásticos (Bellas et al., 2016; Bessa et al., 2018; Foekema et al., 2013; Hermesen et al., 2017;

Herrera et al., 2019; Pellini et al., 2018; Su et al., 2019; Tanaka y Takada, 2016). Sin embargo, la falta de procedimientos de seguridad (p. ej., limpieza de la sala de trabajo y procedimientos en blanco) durante la implementación de los protocolos de digestión puede conducir a la sobreestimación de los contaminantes, ya que las muestras son más propensas a la contaminación cruzada y en el aire (Hermesen et al., 2018, 2017; Torre et al., 2016). Además, el procedimiento debe garantizar la confiabilidad de los datos a través de una extracción eficaz y cuidadosa de los microplásticos y la implementación de un tamaño de muestra robusto con un mínimo de 10 muestras (Markic et al., 2020). (Justino et al., 2021)

Los estuarios son bien conocidos por brindar servicios ecosistémicos al suministrar bienes esenciales (materias primas y alimentos) y ofrecer un entorno atractivo para el crecimiento demográfico y las actividades culturales (Atkins et al., 2011). Además, cumplen importantes funciones ecológicas ya que los peces utilizan estos ambientes para protección, alimentación, reproducción, asentamiento y crianza (Ferreira et al., 2019a; Krumme et al., 2008; Lima y Barletta, 2016; Potter et al., 2013; Ramos et al., 2016). A nivel mundial, los estuarios suelen estar rodeados de grandes metrópolis, y la expansión de la población urbana está directamente asociada a los impactos sobre los ecosistemas costeros (Freeman et al., 2019). La contaminación por plásticos es uno de los problemas ambientales más importantes del siglo XXI, ya que grandes cantidades de estos materiales están siendo mal manejados y/o desechados ilegalmente en los ecosistemas marinos (Dauvergne, 2018; Ostle et al., 2019). Una vez en el medio ambiente, estos materiales plásticos se debilitan por procesos naturales (p. ej., fuerzas hidrodinámicas, radiación solar y acciones biológicas) (Jambeck et al., 2015; Thompson et al., 2004) y fragmentado en partes más pequeñas conocidas como microplásticos (<5 mm).

Varios estudios realizados en estuarios del Atlántico Sur evaluaron la ingestión de plásticos por parte de organismos marinos, mamíferos (Attademo et al., 2015), mejillones (Birnstiel et al., 2019; Santana et al., 2016), tortugas (Guebert-Bartholo et al. al., 2011), e interacciones de microplásticos con ictioplancton (Lima et al., 2016), y ensamblajes de peces (Vendel et al., 2017). Sin embargo, pocos estudios investigaron la dinámica ecológica y biológica asociada con la ingesta de microplásticos en peces silvestres (Amorim et al., 2020; Dantas et al., 2020; Ferreira et al., 2018, 2016). Además, la bioacumulación de microplásticos en especies marinas está muy influenciada por las estrategias de alimentación (Miller et al., 2020). Sin embargo, aún no se conoce bien la posible correlación entre los hábitos alimentarios y la ingesta de MP. (Justino et al., 2021)

Comprender el papel de los microplásticos como componente de la contaminación antrópica en este ecosistema es crucial para evaluar los impactos adversos en la biodiversidad regional y la calidad de los recursos pesqueros que se comercializan y consumen. (Justino et al., 2021)

La aplicación de protocolos de digestión para extraer microplásticos en la biota marina ha ido en aumento a nivel mundial (Lusher et al., 2017). El protocolo de digestión es un método confiable para aislar microplásticos en la biota, lo que facilita la observación de materiales no orgánicos. Para los peces, el método más común utilizado es la digestión alcalina. De hecho, para muchos autores, este es considerado el método más adecuado para eliminar material orgánico y aislar desechos plásticos (Karami et al., 2017; Kühn et al., 2017; Schirinzi et al., 2020). Aunque la eficacia del hidróxido de potasio (KOH 10 %) se ha probado con más frecuencia, el uso de hidróxido de sodio (NaOH 1 M) también se ha probado ampliamente y ha demostrado ser muy útil (Baalkhuyur et al., 2018; Bellas et al., 2016; Budimir et al., 2018; Morgana et al., 2018; Su et

al., 2019; Wieczorek et al., 2018), y asegura la integridad del polímero después de la digestión química (Budimir et al., 2018). (Justino et al., 2021)

Aunque se han realizado adaptaciones del protocolo de digestión en todo el mundo (Karami et al., 2017; Kühn et al., 2017), hasta el momento, solo tres estudios en estuarios de América del Sur han utilizado un protocolo de digestión química para la extracción de microplásticos. en el tracto digestivo de los peces, con la implementación de un adecuado aseguramiento y control de calidad (QA/QC) (Arias et al., 2019; Garcés-Ordóñez et al., 2020; Ribeiro-Brasil et al., 2020). La implementación de procedimientos de QA/QC es esencial para evitar la contaminación cruzada de las muestras de microplásticos (Hermesen et al., 2017; Lusher et al., 2017; O'Connor et al., 2020). Este tratamiento es necesario para minimizar la sobreestimación o subestimación de los microplásticos debido a la contaminación en el aire o la pérdida de partículas durante la manipulación de muestras. Además, el tamaño de la muestra también es un factor esencial en el análisis. Entre los estudios en América del Sur, solo Arias et al. (2019) han elegido un tamaño de muestra $n > 10$. (Justino et al., 2021)

Se necesitan más estudios sobre los impactos de los microplásticos en la fauna marina y si podrían transferir contaminantes adsorbidos, como contaminantes orgánicos persistentes (COP), metales pesados y aditivos plásticos a la red alimentaria, ya que las partículas de microplásticos pueden transferirse a lo largo de la cadena trófica aumentan las posibilidades de acumular otros contaminantes en la red alimentaria. En los recursos pesqueros, esta cuestión es un asunto de salud pública porque está relacionada con la absorción humana de estos contaminantes. (Justino et al., 2021)

La FAO explica que el tamaño es un factor importante para determinar la medida en que los organismos pueden verse afectados. Los microplásticos, invisibles a simple vista, afectan

principalmente a pequeños peces, organismos invertebrados y otros animales filtradores que tienen el potencial de entrar en nuestra cadena alimentaria. (FAO/Fikri Andi, 2019).

En el sector de la pesca y acuicultura se suele usar el plástico para fabricar aparejos de pesca, jaulas, boyas y para construir y mantener embarcaciones. Se utilizan también cajas y materiales de embalaje de plástico para transportar y distribuir el pescado y los productos pesqueros. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados son una de las principales fuentes de desechos plásticos marinos; sin embargo, no existen datos cuantitativos sobre la cantidad de micro plásticos que son emitidos a partir de ellos. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Según la FAO, actualmente las áreas más afectadas por la presencia de microplásticos son el mar Mediterráneo, los mares del este y el sudeste asiático y las zonas de convergencia ecuatorial al norte del Atlántico y del Pacífico. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Los microplásticos contienen una mezcla de productos químicos añadidos durante su fabricación que pueden filtrarse en el ambiente. Estas partículas además absorben eficazmente sustancias tóxicas presentes en el medio marino como los contaminantes orgánicos persistentes. “Además, los microplásticos son un sustrato sobre el que viven organismos marinos como invertebrados, microalgas, bacterias, hongos o virus (fenómeno conocido como bioincrustación), algunos de los cuales representan patógenos potenciales”, asegura la FAO. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Según los estudios , se ha observado que más de 220 especies diferentes ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales. Excluyendo a aves, tortugas y mamíferos, el 55% de ellos son especies que tienen importancia comercial, tales como los mejillones, las ostras, las almejas, el camarón pardo, la cigala, las anchoas, las sardinas, los arenques del

Atlántico, el estornino del Atlántico, las macarelas, las bacaladillas, el bacalao atlántico, la carpa común y la corvinata amarilla, entre otros. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Hasta el momento solo se ha detectado microplástico en los intestinos de algunos organismos en pequeñas cantidades, pero escasos trabajos científicos han determinado su impacto a nivel poblacional. Actualmente existe un conocimiento limitado al respecto, pero los estudios experimentales en laboratorio han demostrado que si pueden ser nocivos. (FAO/Fikri Andi, 2019).

Las dos formas microplásticas más comunes en el medio acuático son fragmentos, en lo sucesivo denominados “partículas microplásticas”, y microplásticos fibrosos, denominados “fibras microplásticas” (Barrows et al., 2018) (Rebelein et al., 2021).

Se sospecha que la contaminación real de los ambientes acuáticos con fibras microplásticas es mucho mayor que con partículas microplásticas (Gago et al., 2018a; Woods et al., 2018). A pesar de su dominio en abundancia en los ambientes acuáticos, las fibras microplásticas recibieron poca atención hasta el momento. Los aspectos de su biodisponibilidad y los posibles impactos en los entornos y organismos acuáticos aún no se comprenden bien. Dada su forma alargada, las fibras tienen el potencial de enredarse con apéndices, filamentos branquiales y dentro del sistema gastrointestinal de los organismos, lo que puede dañar a los organismos directamente una vez adheridos o provocar efectos fisiológicos negativos. Una pregunta abierta es si las fibras microplásticas afectan a organismos similares a las partículas microplásticas o inducen efectos aún más graves (Rebelein et al., 2021).

Una gran cantidad de materiales en nuestra vida diaria (por ejemplo, muebles, textiles, etc.) están hechos de fibras sintéticas y naturales (Gago et al., 2018a). La abrasión y la liberación de fibras de los tejidos sintéticos es uno de los principales contribuyentes a la contaminación por

microplásticos. El desprendimiento de >1900 fibras microplásticas del lavado de una prenda de poliéster individual resultó en >100 fibras por litro de agua residual (Browne et al., 2011) (Rebelein et al., 2021).

De todos los elementos microplásticos primarios liberados en los océanos del mundo, las dos fuentes más importantes son las fibras microplásticas derivadas del lavado de textiles (semi) sintéticos (35 %) y las partículas de erosión de los neumáticos (28 %). (Boucher y Friot, 2017) (Rebelein et al., 2021).

Se utilizaron estudios de exposición que proporcionan dietas suplementadas con fibras microplásticas para peces para analizar la absorción de fibra a través de la ingestión oral. Los peces que se alimentan de forma selectiva utilizan sus sistemas sensoriales para elegir su comida y algunos peces pueden detectar y rechazar elementos microplásticos duros. Los peces dorados (*Carassius auratus*) que pueden masticar gránulos de comida estuvieron expuestos a elementos microplásticos a través de gránulos de comida (Jabeen et al., 2018). Los peces expulsaron aquellos gránulos de comida que contenían esferas o fragmentos de microplásticos duros (Jabeen et al., 2018). Los gránulos con fibras microplásticas, por el contrario, fueron masticados e ingeridos, lo que indica que los peces no reconocen las fibras como no digeribles (Jabeen et al., 2018), presumiblemente porque las fibras son estructuras comunes en los alimentos naturales. Esto sugiere que es más probable que los peces que se alimentan selectivamente ingieran fibras microplásticas que partículas (Rebelein et al., 2021).

En general, los peces pueden ingerir fibras directamente de la columna de agua y asociadas a su alimento. La mayoría de las fibras absorbidas se eliminan de manera eficiente, pero pueden desencadenar alteraciones estructurales en el sistema intestinal y cuando se encuentran en las branquias (Rebelein et al., 2021).

Las fibras microplásticas representan una parte sustancial, si no la mayor, de la contaminación por microplásticos en los ambientes acuáticos. La prominencia de este tipo de microplástico y su gran abundancia en ciertas áreas hace que sea esencial considerar las fibras microplásticas y su toxicidad en las evaluaciones de riesgo de contaminación por microplásticos.

Solo el contacto físico con las fibras microplásticas en la columna de agua puede provocar daños externos en el zooplancton y otros organismos pequeños. La absorción real de fibras microplásticas depende de manera crucial de la concentración y biodisponibilidad de las fibras en el medio ambiente, su estado de degradación y el modo de alimentación y la eficiencia de asimilación de los consumidores (Rebelein et al., 2021).

5. Medidas de mitigación internacionales

Además de la iniciativa Clean Seas de la ONU, se pueden destacar las siguientes iniciativas internacionales:

5.1 Conceptos globales, educación y divulgación

Estrategia seis R (Reduce, Recycle, Reuse, Rethink, Repair, Refuse). El concepto se enfoca en sugerir un cambio a los hábitos de las personas en torno al uso del plástico, de tal manera que éste sea sostenible (Koch & Manley Barber, 2019).

5.2 Nuevas técnicas de recuperación oceánicas

Actualmente, existe un creciente interés en impulsar la creación de diversas técnicas de recuperación de plásticos que navegan en el océano. Una muestra de ello es la ONG Ocean Clean Up, guiada por Boyan Slat, financiada en parte por el gobierno holandés y apoyado también por Estados Unidos. El desarrollo de su proyecto toma fuerza a raíz de la creciente preocupación por la mancha de basura en el Pacífico Norte, también conocida como The Great

Pacific Garbage Patch” (GPGP), la cual, de acuerdo a los últimos registros de esta ONG, el tamaño sería igual a la de España, Francia y Alemania juntas (Ocean Clean Up, review 2017).

Este método, que The Ocean Clean Up está desarrollando, es un sistema pasivo, que se mueve con las corrientes (al igual que el plástico), para así atraparlo. Está compuesto por un flotador con una pantalla sólida por debajo, concentrando los desechos y llevándolo a un sistema de recolección. Este sistema se ralentiza con un ancla de deriva suspendida a una profundidad aproximada de 600 m, lo que hace que el sistema se mueva más lento que el plástico y, por lo tanto, lo captura (Koch & Manley Barber, 2019).

5.3 Mr. Trash Wheel.

Este método combina tecnologías para aprovechar el poder del agua y la luz solar, recogiendo basura y plásticos que fluyen por los ríos de Baltimore.

La corriente del río proporciona energía para hacer girar una rueda de agua, que levanta basura y escombros del agua y la deposita en una barcaza de contenedores de basura. Cuando no hay suficiente corriente de agua, una matriz de paneles solares proporciona energía adicional para mantener la máquina en funcionamiento (Koch & Manley Barber, 2019).

5.4 Reemplazo del plástico

Además de incentivar al consumidor a preferir bolsas de papel o de género frente al plástico, nacen nuevas iniciativas respecto a la fabricación de bolsas con productos más amigables para el medio ambiente. Tal es el caso de la empresa Avani Eco, quienes emprendieron un proyecto de fabricación de bolsas con almidón de yuca, caña de azúcar y maicena, 100% biodegradables y que, al contacto con el agua, se disuelven (Koch & Manley Barber, 2019).

5.5 Recolección costera y reutilización del plástico

- **4Ocean.** Es hoy un movimiento activo a nivel global que permite que cualquier persona en el mundo coopere financieramente en la tarea de la eliminación de basura en el océano a través de la compra de pulseras que son fabricadas con el material plástico reciclado de las limpiezas de playas (Koch & Manley Barber, 2019).
- **Ocean Conservancy.** ONG que a través de su programa International Coastal Cleanup, cuenta con aproximadamente 600.000 voluntarios en todo el mundo para limpiezas de playa anuales. Su principal actividad, a la cual nosotros también adherimos voluntariamente como institución, es el día internacional de limpieza de playas (Koch & Manley Barber, 2019).
- **Plastic Oceans.** Enfoca sus esfuerzos a través de una campaña de concientización que utiliza medios audiovisuales tales como el conocido documental A Plastic Ocean, para difundir el peligro del plástico desechable (Koch & Manley Barber, 2019).

6. Conclusiones

Mediante la revisión de los diferentes estudios bibliográficos, se logró hacer una descripción con respecto a la bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos en la fauna íctica, se identificó que la mala gestión de la disposición final de los desechos sólidos flotantes que generamos en grandes cantidades diariamente como las botellas plásticas, fundas, sorbetes, llantas, redes de pesca, madera y otros, sumado a los equipos de protección personal que son utilizados para protegerse del contagio del virus COVID-19, es una fuente de contaminación marina por desechos plásticos que a su vez generan los microplásticos. Según indica (Escobar Condor et al., 2019) en su estudio, en el ambiente marino la cantidad de plástico

acumulado es aún incierto, sin embargo, se estima que en la actualidad hay más de 5 billones de piezas plásticas flotando en hábitats pelágicos (Eriksen et al. 2014).

Una manera mediante la cual los microplásticos ingresan a la fauna íctica es a través de la ingestión, tal como lo reporta (Castro-García et al., 2021) en su estudio, una vez que los microplásticos se encuentran en océanos, ríos o cualquier otro ecosistema acuático, estos pueden ser ingeridos por la fauna acuática más pequeña, como el zooplancton, peces pequeños, los organismos más grandes, como los lobos marinos o ballenas (Carbery et al., 2018).

Los microplásticos generados a través de la basura marina plástica se encuentran distribuidos globalmente en los océanos, este tema requiere de la atención de la comunidad científica con el fin de poder analizar más a fondo los efectos de la bioacumulación y grado de toxicidad de los microplásticos, como en la alimentación, disminución de la cantidad de peces, y posible generación de cáncer en las personas que consuman este tipo de fauna a través de la cadena trófica, lo que permitirá generar un mayor grado de consciencia e incentivar medidas de acción oportunas que contribuyan tanto a nivel local como global a disminuir el uso de plástico, especialmente el de un solo uso.

A través del documento realizado se puede contribuir mediante la recopilación de alternativas como la reducción de consumo de productos plásticos, programas de educación ambiental, reutilización de plástico que cumplió su vida útil, regulación de procesos industriales, y adoptar la economía circular, para plantear posibles opciones que mitiguen los efectos negativos ocasionados por los microplásticos a la fauna íctica a nivel nacional e internacional.

Recomendaciones

Para contribuir de manera positiva en la solución del gran problema que ocasionan los microplásticos y cómo se ha evidenciado en las revisiones realizadas, es recomendable sustituir el uso del plástico cotidiano con aquellas aplicaciones que sean verdaderamente necesarias en la reutilización y reciclado del mismo, para lo cual es fundamental tener en cuenta la implementación de normativas drásticas de reducción en el uso como ya lo realizan algunos países, y así mismo buscar estrategias de sostenibilidad para reemplazar el plástico por otros materiales que sean ecoamigables.

Lo anterior se puede complementar con programas de educación ambiental y campañas de marketing sostenible dirigidas hacia toda la población, con el objetivo de concienciar sobre la problemática actual de los microplásticos, es decir actuar de manera preventiva, por ejemplo, reduciendo los plásticos desechables como se había mencionado. Las limpiezas de playas pueden ayudar a resolver el problema local y son importantes para generar conciencia, pero se hace necesario y de gran importancia detener el continuo flujo de plásticos hacia el océano, y una forma de lograr esto es mediante la terminación del uso de plásticos desechables utilizando botellas retornables, bolsas reutilizables, vasos reutilizables, etc. Finalmente debemos entender que es una problemática que nos termina afectando a todos, no sólo a la fauna íctica por lo que debemos aportar a las medidas de mitigación desde nuestra conciencia como comunidad, es un trabajo continuo que requiere del compromiso de todos.

Referencias Bibliográficas

- Alfaro-Núñez, Alonzo, A. D. y C.-F. L. (2019). Evaluación de contaminación de microplástico en el pacífico Ecuatoriano a través de química analítica e identificación (eDNA) de especies marinas más vulnerables, y sus efectos nocivos de bioacumulación en la salud humana. *Revista Marina*, 2.
- Barraza Sandoval, J. E., Melara, V. E., Christoph, R., Hernández, Á. A., Muñoz, R., Büscher, W. C., Ventura Luna, J. S., Humberstone Morales, J. E., & Sanz Rodríguez, A. (2021). Microplásticos en agua superficial de la costa de El Salvador. *Realidad y Reflexión*, 54(54), 140-155. <https://doi.org/10.5377/ryr.v54i54.12072>
- Castro-García, S., Barrera-Leiva, A. M., González-Evaristo, A. M., Pinot-Gómez, A. L., Vargas-Chan, J. R., Sierra-Lemus, I. S., & Huchin-Mian, J. P. (2021). Contaminación por microplásticos en ecosistemas acuáticos. *XXVI Verano de la Ciencia*, 10, 1-9.
- Escobar Condor, E. W., Izquierdo Villasante, Y., Macedo Riva, A., Remuzgo Panduro, G., & Huiman Cruz, A. (2019). Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 4, 79-92. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.004>
- FAO/Fikri Andi. (2019). Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos? *Naciones Unidas, Noticias ONU Mirada global Historias humanas*. <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041>
- Justino, A. K. S., Lenoble, V., Pelage, L., Ferreira, G. V. B., Passarone, R., Frédou, T., & Lucena Frédou, F. (2021). Microplastic contamination in tropical fishes: An assessment of different feeding habits. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101857. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101857>

- Koch, B. S., & Manley Barber, M. (2019). Basuras Marinas; Impacto, Actualidad Y Las Acciones Para Mitigar Sus Consecuencias. *Revista de Marina* , 968, 30-39.
- Mazariegos-Ortíz, C., Xajil-Sabán, M., Blanda, E., & Delvalle-borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas*, 30(2), 1-7.
- Molina, C. R. E., Gómez, R. W. J., & De la Cruz, L. J. (2021). Contaminación marina por desechos plásticos en países del perfil costero del Pacífico Sur, 2016-2021. *Polo del Conocimiento*, 6(5), 458-478. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2671>
- Molina Huaranga, B. A., & Rosales Oscoco, K. C. (2019). Caracterización de microplásticos y su identificación en peces de orilla en la playa Naplo - Lima 2019. *Repositorio Institucional - UCV*, 0-3. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65678#.YX8me1o3jQc.mendeley>
- Quirós-Rodríguez, J. A., Nisperuza-Pérez, C., & Yepes-Escobar, J. (2021). Los microplásticos, una amenaza desconocida para los ecosistemas marinos de Colombia: perspectivas y desafíos a enfrentar. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 91615. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.91615>
- Rebelein, A., Int-Veen, I., Kammann, U., & Scharsack, J. P. (2021). Microplastic fibers — Underestimated threat to aquatic organisms? *Science of the Total Environment*, 777, 146045. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146045>

