



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**REVISIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LA
CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN
EL RECURSO HÍDRICO**

Jefferson Alexis Correa Pérez

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela ambiental,
Especialización en manejo y gestión del agua

Medellín, Colombia

2020



Revisión de la problemática de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico

Jefferson Alexis Correa Pérez

Trabajo de monografía presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en manejo y gestión del agua

Asesor (a):

Juan Pablo Salazar – Geólogo, Especialista en Evaluación
del impacto Ambiental, PhD Ingeniería.

Línea de Investigación:

Gestión del recurso hídrico y manejo del agua

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela Ambiental, Especialización en manejo y gestión del agua
Medellín, Colombia

2020

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2 | OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 | Objetivo general | 3 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 3 |
| 3 | METODOLOGÍA | 3 |
| 3.1 | Recolección de información | 3 |
| 3.2 | Revisión de Bases de datos para la gestión de microplásticos | 3 |
| 3.3 | Formulación de la propuesta de gestión de microplásticos | 4 |
| 4 | GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS MICROPLÁSTICOS COMO PREOCUPACIÓN EN EL RECURSO HÍDRICO | 4 |
| 4.1 | FUENTES, COMPOSICIÓN Y PROCESOS DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS CUERPOS DE AGUA | 4 |
| 4.1.1 | ¿Qué son los microplásticos? | 4 |
| 4.1.2 | Fuentes y composición de los microplásticos | 5 |
| 4.2 | EFFECTOS NEGATIVOS EN EL MEDIO AMBIENTE Y EN LA SALUD HUMANA POR LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA..... | 7 |
| 4.2.1 | Efectos de los microplásticos en el medio ambiente..... | 7 |
| 4.2.2 | Efectos de los microplásticos en la salud humana. | 9 |
| 4.3 | MANEJO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN EL RECURSO HÍDRICO | 10 |
| 4.3.1 | Marco Normativo | 10 |
| 4.3.2 | Alternativas de tratamiento de los microplásticos..... | 11 |
| 4.4 | PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE MICROPLÁSTICOS..... | 13 |
| 4.4.1 | Gestión ambiental..... | 13 |
| 4.4.2 | Estrategias, programas y proyectos para la gestión ambiental de microplásticos a nivel municipal..... | 13 |
| 4.4.3 | Descripción propuesta de gestión ambiental de microplásticos..... | 15 |
| 5 | CONCLUSIONES | 17 |
| 6 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 18 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1. | Principales orígenes de los microplásticos en los medios acuáticos..... | 6 |
| Tabla 2. | Propuesta de Gestión Ambiental de microplásticos..... | 14 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|---|---|
| Gráfico 1. | Tamaño de los microplásticos según varios autores | 5 |
|------------|---|---|

| | |
|--|----|
| Gráfico 2. Ruta de los microplásticos en la cadena trófica | 8 |
| Gráfico 3. Rutas potenciales de microplásticos en los seres humanos..... | 9 |
| Gráfico 4. Microplásticos en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento | 12 |

REVISIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN EL RECURSO HÍDRICO

Resumen: El material plástico debido a sus características de durabilidad, elasticidad, impermeabilidad y bajo costo, han brindado grandes beneficios a la sociedad, sin embargo, su alta producción y uso han planteado crecientes preocupaciones como la presencia de microplásticos en el recurso hídrico, que generan afectaciones y riesgos para el medio ambiente y la salud humana. En este trabajo se realiza una recopilación y análisis bibliográfico sobre la presencia, principales fuentes de contaminación, afectaciones al medio ambiente y a la salud humana por microplásticos en el recurso hídrico, como también el manejo y control de microplásticos, donde se exponen diversas normativas de carácter nacional e internacional en torno al control de las micropartículas, además se presentan algunas alternativas de tratamiento según el estado de arte actual de tratamiento de los microplásticos en los cuerpos de agua.

Finalmente, se plantea una propuesta de gestión ambiental de microplásticos que pueda contribuir en la misión ambiental de las entidades territoriales y que sea un insumo que permita proteger y conservar el recurso hídrico por medio de la aplicación de sus planes de educación ambiental municipal.

Palabras clave: Contaminación del agua, Contaminantes emergentes, Microplásticos, Modelo de gestión ambiental, Plan de educación ambiental.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evidenciado un aumento en la producción de materiales plásticos para una amplia gama de aplicaciones industriales y de consumo cotidiano, dado a que estos materiales poseen valiosas características como su durabilidad y bajo costo, lo que permite generar productos más ligeros, transparentes y resistentes. Sin embargo, la contaminación por residuos plásticos en el medio ambiente es una de las problemáticas más importantes a nivel mundial, debido a que estos residuos afectan los sistemas acuáticos y ecosistemas en general. El uso masivo de estos desechos plásticos y la mala gestión en la eliminación de estos residuos ha conducido a que no solo se afecte los valores recreativos y estéticos de los ecosistemas, sino también a que se presenten problemas de contaminación persistentes en los cuerpos de agua. Es importante entender que una vez que los plásticos ingresan al medio acuático estos son sometidos a procesos de degradación física, química y biológica que actúan para romper grandes piezas en unos fragmentos más pequeños a los que se denominan microplásticos. Estas pequeñas partículas de plástico se encuentran de manera ubicua en los cuerpos de agua como ríos, lagos, estuarios, costas y ecosistemas marinos. Es por ello por lo que en los últimos 20 años se ha aumentado el interés en el estudio de aquellos plásticos con un tamaño menor a 5 mm, que a su vez están clasificados en microplásticos primarios y secundarios y que se originan a diario en las actividades domésticas e industriales de los seres humanos, además, se presentan como un contaminante de alta prevalencia y persistencia en el medio ambiente, sobre todo en los ecosistemas marinos y de agua dulce.

En efecto, las costas y superficies de los mares han sido los escenarios más grandes de acumulación de microplásticos, lo que ha llevado a evidenciar variedad de alteraciones en la biota marina. Así, por ejemplo, los organismos marinos como los peces no pueden librarse de ingerir las micropartículas originadas por la degradación de los plásticos y debido a esto sufren de bloqueos intestinales; más aún, estas micropartículas pueden ocasionar daños en el sistema nervioso de algunas especies, al mismo tiempo pueden albergar microorganismos patógenos y otro tipo de contaminantes en sus superficies. En este sentido, la ocurrencia ambiental y los efectos de los microplásticos en la contaminación fluvial pueden ser preocupantes para el medio ambiente y la salud de las personas en general, ya que los entornos receptores de estas micropartículas están potencialmente expuestos a una mezcla de partículas de tamaño micro, nano, aditivos lixiviados y demás productos de degradación que podrían afectar los ecosistemas acuáticos y con ello la cadena trófica marina.

Por consiguiente, en el siguiente trabajo se realiza una revisión bibliográfica con el fin de presentar una propuesta de gestión ambiental para los microplásticos que pueda ser aplicada en las estrategias, principios, propósitos, programas y acciones específicas enmarcadas en los instrumentos de planificación de la educación ambiental de los entes territoriales, buscando así dinamizar un proceso participativo que esté orientado a comprender las problemáticas ambientales asociadas a los microplásticos en el recurso hídrico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Revisar la problemática de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico con el fin de presentar una propuesta de gestión ambiental, que pueda ser aplicada por los entes territoriales en sus planes de educación ambiental municipal en Colombia.

2.2 Objetivos específicos

- Describir las fuentes, composición y procesos de los microplásticos en los cuerpos de agua.
- Identificar los principales efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente por la presencia de microplásticos en el agua.
- Revisar las diferentes alternativas para el manejo y control de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico
- Formular una propuesta de gestión ambiental que contribuya a la contextualización, conceptualización y proyección de estrategias que disminuyan la presencia de los microplásticos en el recurso hídrico.

3 METODOLOGÍA

3.1 Recolección de información

Se realizó una amplia y exhaustiva búsqueda bibliográfica que permitiera obtener una síntesis representativa del estado del conocimiento sobre la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico. Para llevar a cabo el primer objetivo se seleccionaron los artículos, libros, revistas y tesis de mayor pertinencia, hasta recopilar la información que permita sustentar las principales fuentes, composiciones y diversos procesos y transformaciones que sufren los microplásticos en los cuerpos de agua. Del mismo modo, para dar cumplimiento al segundo objetivo se siguió con la misma metodología de selección de material bibliográfico para el objetivo 1, esta vez enfocado en la identificación de los principales efectos negativos en el medio ambiente y en la salud humana por la presencia de microplásticos en el agua. Para darle cumplimiento al objetivo 3 se siguió con la misma metodología del objetivo 1 y 2 con la diferencia de que se indagó en las diferentes alternativas para el manejo y control de los microplásticos, enfocadas en las políticas internacionales y nacionales y en la normatividad vigente referente a los microplásticos.

3.2 Revisión de Bases de datos para la gestión de microplásticos

Para la búsqueda general, se utilizó exclusivamente la base de datos proporcionada por la Biblioteca Central de la Universidad de Antioquia. La búsqueda de información se enfocó en las siguientes plataformas digitales: Science Direct, Springer Link y artículos académicos encontrados en Google Scholar.

La naturaleza de la búsqueda de información fue orientada por la revisión de títulos y palabras claves de los artículos en las bases de datos, restringiendo a documentos publicados

en los últimos 10 años, a excepción de aquellos artículos de importancia en el estado del arte de los microplásticos.

3.3 Formulación de la propuesta de gestión de microplásticos

Para la formulación de la propuesta de gestión ambiental de microplásticos se evaluaron algunos casos exitosos a nivel nacional e internacional de gestión de plásticos; enfocados principalmente sobre cuál era la perspectiva futura de este material y cuáles eran sus posibles soluciones. Además, se revisaron documentos de gestión ambiental de plásticos de algunas empresas, como también manuales de acciones contra el plástico elaborados por ONG's ambientalistas, artículos, políticas y videos que permitieran desarrollar y articular estrategias para la contextualización, conceptualización y proyección de la disminución de los microplásticos en el recurso hídrico.

4 GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS MICROPLÁSTICOS COMO PREOCUPACIÓN EN EL RECURSO HÍDRICO

4.1 FUENTES, COMPOSICIÓN Y PROCESOS DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS CUERPOS DE AGUA

4.1.1 ¿Qué son los microplásticos?

Según Laskar & Kumar (2019) los plásticos son compuestos de polímeros sintéticos que se obtienen principalmente a partir del petróleo y el gas natural. Tales compuestos poseen alta masa molecular y plasticidad, debido a que a estos productos se les adicionan ciertos químicos para aumentar el rendimiento y la eficiencia de estos. Estas sustancias o aditivos químicos son los que le confieren las propiedades deseadas en cuanto a su textura, resistencia a la temperatura, maleabilidad, estabilidad, brillo, entre otros (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). Las diferentes combinaciones de los polímeros y aditivos químicos son los que dan lugar a una gran variedad de formas de plásticos.

Estos valiosos productos plásticos han sido objeto de una creciente preocupación ambiental. Principalmente, por la durabilidad y resistencia a su degradación. En los últimos años, esta preocupación ambiental se ha venido acrecentando debido a la presencia de pequeñas microperlas plásticas denominadas microplásticos, los cuales se definen como pequeños gránulos de plástico considerados como contaminantes en el medio ambiente (Cole, Lindeque, Halsband, & Galloway, 2011)

Actualmente, no se tiene una definición clara del concepto de microplástico, debido a que no se ha llegado a un consenso sobre el rango de tamaños para la descripción de estas micropartículas. Los microplásticos se han atribuido con numerosos rangos de tamaño, que varían de un autor a otro (Cole et al., 2011) (Gráfico 1). De manera más común, los microplásticos comprenden todas aquellas partículas de plástico con un tamaño inferior a 5 mm (Rojo-Nieto & Montoto, 2017), donde básicamente, existen dos tipos de microplásticos disponibles en el medio ambiente: los microplásticos primarios y los secundarios (Laskar & Kumar, 2019). Los microplásticos primarios son aquellos que ya son producidos o manufacturados intencionalmente con un tamaño microscópico, típicamente comercializados

como "microperlas" o "microexfoliantes", estos plásticos pueden variar en forma, tamaño y composición dependiendo del producto (Cole et al., 2011); Entre ellos, destacan las partículas presentes en los geles exfoliantes y las cremas dentales.

Por otro lado, los microplásticos secundarios son producto de la degradación de otros materiales plásticos, lo que quiere decir que provienen de la fragmentación de estructuras sintéticas más grandes debido a la exposición de condiciones externas como la radiación solar, oxidación, acción mecánica y/o degradación microbiana de los productos plásticos. (Rojo-Nieto & Montoto, 2017; Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016). Un caso especial de estos microplásticos secundarios son los nanoplasticos, los cuales son partículas de plástico de menos de 100 nm de tamaño que se forman debido a la fragmentación y a los efectos de la intemperie del material plástico (Laskar & Kumar, 2019). Estas nanopartículas son de mucho interés debido a que son tan pequeños que pueden pasar fácilmente por cualquier proceso normal de tratamiento de aguas. Sumado a esto, los microplásticos (MP) tienen varias rutas potenciales de liberación ambiental como lo son:

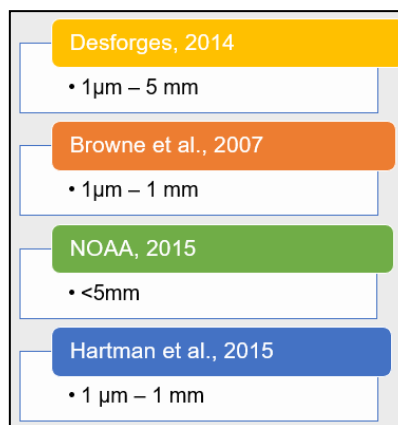


Gráfico 1. Tamaño de los microplásticos según varios autores
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo anterior, estos contaminantes pueden estar presentes en diversos cuerpos de agua y en el ambiente en general, por lo que se han realizado varios estudios demostrando los efectos que tienen tanto como para los organismos acuáticos como para los seres humanos.

4.1.2 Fuentes y composición de los microplásticos

Existen tres fuentes principales de microplásticos al medio acuático:

- Emisión de microplásticos primarios que se producen intencionalmente para fines específicos, como los productos cosméticos que van destinados a la higiene personal y el cuidado del hogar, donde podemos identificar principalmente los exfoliantes para la piel, lociones, desodorantes, pasta de dientes, jabones, tinta para impresoras 3D, suministro de medicamentos, entre otros (Rios Mendoza, Karapanagioti, & Álvarez, 2018). Estos microplásticos frecuentemente no son removidos en las PTAR, debido a su flotabilidad y pequeño tamaño, de manera que son liberados a los cuerpos de agua tales como los ríos, lagos y océanos (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).
- Fragmentación de plásticos debido a la fotodegradación UV, acción mecánica, hidrólisis y acciones de microorganismos, del mismo modo la fragmentación de los

textiles sintéticos libera grandes cantidades de fibras. Según un estudio de 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.

- Las plantas de tratamiento de aguas residuales recolectan las aguas residuales de una amplia variedad de usuarios, desde descargas de civiles hasta industriales, ya sea por el uso de MP en productos de cuidado personal y liberación de fibras textiles durante el lavado de la ropa o liberación de productos o procesos industriales. (Lambert & Wagner, 2018). En muchos casos, también recogen la escorrentía del agua de lluvia, que arrastra el desgaste de neumáticos, frenos y otros MP secundarios producidos por la fragmentación de la basura de plástico desgastada en el borde de la carretera y deposición de partículas atmosféricas (Galafassi, Nizzetto, & Volta, 2019); (Wagner & Lambert, 2018).

“Los microplásticos están compuestos principalmente por seis tipos principales de polímeros a base de petróleo: polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno expandido (PS) que tienen más probabilidades de flotar, y cloruro de polivinilo (PVC), poliamida (PA), también conocido como nylon y polietileno tereftalato (PET), que son más propensos a hundirse en la columna de agua debido a diferencias en su densidad (Lusher et al. 2017) La distribución de la basura en el medio marino está determinada por su densidad relativa al agua marina”.

En la Tabla 1 se presentan los principales materiales plásticos que son potencialmente generadores de contaminación microplástica en los medios acuáticos.

Tabla 1. Principales orígenes de los microplásticos en los medios acuáticos

| Categorías | Aplicaciones |
|----------------------------------|---|
| Polietileno Tereftalato (PET) | Producción de botellas para aceites, cosméticos, gaseosas, fabricación de cintas de audio y video, radiografías, fibras para la industria textil etc. |
| Polietileno Alta Densidad (PEAD) | Producción de bolsas, cascos, tuberías de saneamiento, juguetes, etc. |
| Cloruro de Polivinilo (PVC) | Producción de juguetes, envases, envoltorios, películas, tuberías, suelas de zapatos, guantes, impermeables, revestimiento de exteriores, persianas, mangueras, electrodomésticos, etc. |
| Polietileno Baja Densidad (PEBD) | Aislante en cables eléctricos, botellas para agua, bolsas flexibles, tuberías flexibles, juguetes, embalajes. |
| Polipropileno (PP) | Producción de cuerdas, pañales descartables, envases, baldes, cuerdas, carcasas de batería para automóviles, tapas de botellas, tuberías para fluidos calientes etc. |
| Poliestireno (PS) | Envases, cubiertos, desechables, heladeras portátiles y para la producción de aislantes acústicos y térmicos |

Fuente: adaptado y modificado de Marín Galvín et al., 2019

4.2 EFECTOS NEGATIVOS EN EL MEDIO AMBIENTE Y EN LA SALUD HUMANA POR LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA.

4.2.1 Efectos de los microplásticos en el medio ambiente

Según Rojo-Nieto & Montoto (2017) el conocimiento sobre los posibles efectos de los microplásticos sobre la biota marina está todavía en desarrollo y es mucha la información que está creciendo en los últimos años. Un amplio espectro de organismos marinos, incluidos corales, invertebrados como moluscos y crustáceos, peces, aves, tortugas e incluso cetáceos, pueden ingerir microplásticos, o bien incorporarlos mediante la ingesta de presas (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). Se ha observado que muchos organismos marinos, incluidas 26 especies de cetáceos y el 44% de las aves marinas, ingieren desechos plásticos grandes y pequeños (Meng, Kelly, & Wright, 2019). Esta actividad metabólica no sólo afecta a las especies marinas, sino que también puede causar impactos adversos (por ejemplo, en el crecimiento y desarrollo, alimentación o comportamiento reproductivo) en una variedad de biota acuática dulce como peces, zoobentos, zooplancton y moluscos (Meng et al., 2019). Cabe destacar que la mayoría de los estudios se han centrado principalmente en los organismos marinos, sin embargo, la amenaza potencial de contaminación en el medio ambiente de agua dulce puede ser mayor que la del medio marino debido a la proximidad más cercana de las actividades humanas (Li, Busquets, & Campos, 2020).

De esta manera la presencia de estos microplásticos puede afectar a los seres vivos de diversas formas, principalmente: a) ser ingeridos, b) transferirse a lo largo de la cadena trófica, c) interaccionar en la incorporación de otros contaminantes y d) proporcionar un nuevo hábitat en el medio marino.

Aquí conviene detenerse un momento a fin de resaltar que el microplástico es ingerido por muchos invertebrados marinos, ya que las partículas están en el rango de tamaño del plancton y además estas micropartículas también pueden acumularse en los sedimentos, lo que sugiere que éstos estarían disponibles para muchas especies bentónicas. (Meng et al., 2019). Es así como la ingestión de microplásticos por organismos de los eslabones inferiores de la cadena trófica (fitoplancton y zooplancton) puede ser una ruta de entrada para niveles superiores de la cadena alimenticia, a través del consumo de presas previamente contaminadas por estos elementos (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). De manera general, el tamaño de los microplásticos y su comportamiento abundante puede afectar el riesgo de ser ingerido por el zooplancton, luego de la ingestión, la mayoría de las partículas microplásticas son excretadas mediante pellets fecales y dejan el organismo sin sufrir ningún cambio, sin embargo, una pequeña cantidad permanecerá en el cuerpo, lo que facilitará que estos puedan invadir varios tejidos y órganos, produciendo efectos tóxicos a nivel celular y molecular (Gong & Xie, 2020). Ahora bien, el zooplancton está formado principalmente de crustáceos (mayormente copépodos) y peces pequeños que son consumidos por peces más grandes, estos organismos marinos pueden ser ingeridos por corales, moluscos, crustáceos, peces, tortugas y aves en su actividad de ingesta de presas. A su vez estos consumidores secundarios son una importante fuente de alimento para los lobos de mar y mamíferos marinos que pertenecen a los consumidores terciarios. De esta manera por medio de actividades como la pesca se puede propiciar una ruta de contaminación microplástica en los platos de los seres humanos (Gráfico 2).

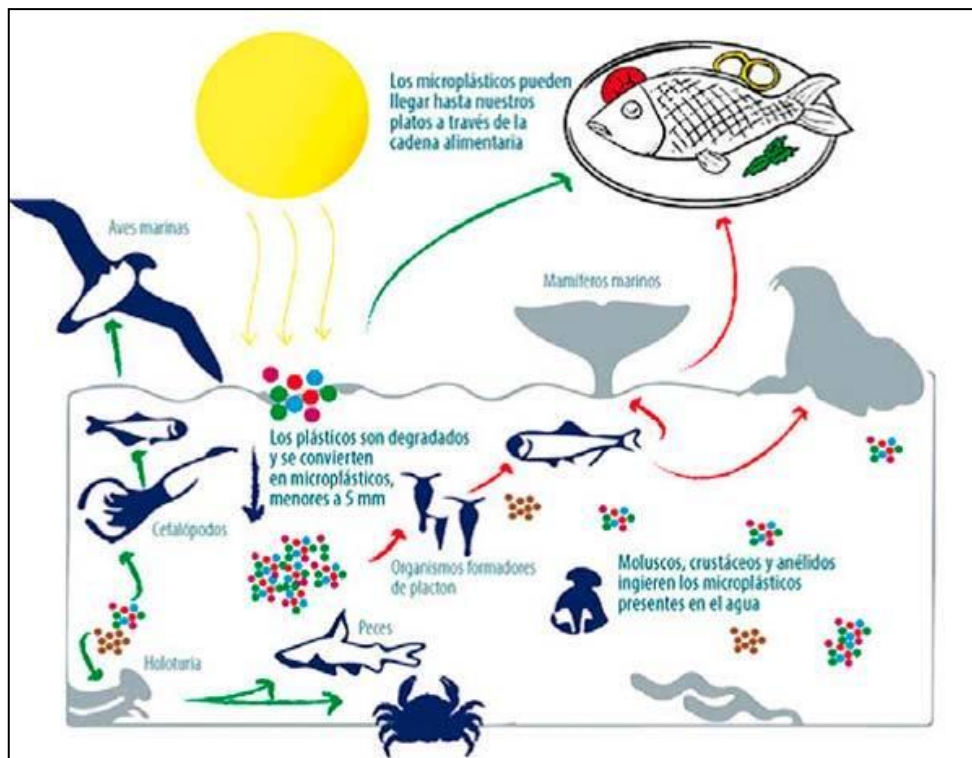


Gráfico 2. Ruta de los microplásticos en la cadena trófica

Fuente: Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global, 2017.

Pero no sólo es relevante el hecho del transporte de este contaminante a través de la cadena trófica, es muy importante reconocer que:

“Está asumido de manera general que los microplásticos pueden actuar como vectores para el transporte de compuestos químicos, bien sean a) compuestos directamente relacionados a la fabricación de plásticos para proporcionarles ciertas propiedades (aditivos), como los ftalatos que los hacen más maleables, el Bisfenol A, los retardantes de llama, los antimicrobianos, y aquellos que evitan los daños oxidativos (nonilfenoles), o bien sean b) metales pesados y contaminantes orgánicos hidrófobos (COHs, HOCs en sus siglas en inglés) que se adsorben en ellos, como cobre, zinc, plomo, bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)” (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

De igual manera es importante mencionar que los microplásticos pueden proporcionar hábitats para la colonización de invertebrados, bacterias y virus, lo que da como resultado que estos microorganismos puedan ser transportados grandes distancias, bien sea por efecto de las corrientes oceánicas o alrededor de la columna de agua (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). Por ejemplo, los insectos pelágicos utilizan partículas de microplásticas para la oviposición y también sirven como hábitat flotante para la colonización bacteriana, como microorganismos que incluyan la bacteria *Bacillus* (Lusher, 2015). En ese sentido, debido a estas características que presentan los microplásticos y a la presencia de colonizadores oportunistas, algunos científicos han sugerido que los microplásticos pueden actuar también como vectores de transporte para patógenos y especies exóticas, aunque es un área que aún debe ser estudiada de una forma más exhaustiva (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

4.2.2 Efectos de los microplásticos en la salud humana.

Una vez que los microplásticos llegan al medio ambiente, estas micropartículas contaminan y se acumulan en cadenas alimenticias mediante tierras de cultivo, cadenas alimenticias acuáticas y terrestres, como también en el suministro de agua potable (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). Así, pueden fácilmente liberar aditivos tóxicos o concentrar toxinas que ya están en el ambiente, fomentando nuevamente su biodisponibilidad para la exposición humana de forma directa o indirecta (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

Por consiguiente, los seres humanos diariamente están expuestos a los microplásticos que de manera ubicua existen en el medio ambiente y en los productos de consumo. El cuerpo humano está sometido a estas micropartículas por tres rutas de exposición: Inhalación, ingestión y contacto dérmico (Gráfico 3).

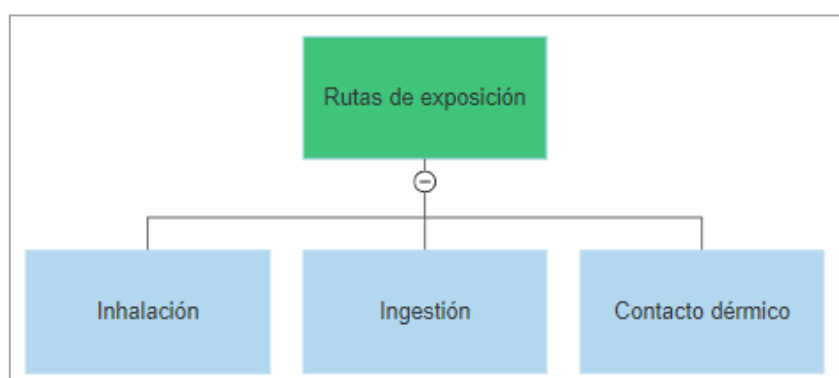


Gráfico 3. Rutas potenciales de microplásticos en los seres humanos

Fuente: Autor

La inhalación es una de las principales vías de entrada directa de microplásticos al cuerpo humano, ya que debido a las actividades antropogénicas existe la presencia de estas partículas en la atmósfera. Esta presencia de contaminantes es a causa de las emisiones de numerosas fuentes, donde podemos identificar los textiles sintéticos, la abrasión de materiales (por ejemplo, neumáticos de automóviles, edificios) y la resuspensión de microplásticos que se encuentran en las superficies). De esta manera, la exposición a estas micropartículas en el aire “puede causar una variedad de impactos a la salud, incluyendo inflamación, estrés oxidativo, apoptosis, y necrosis, las cuales se vinculan a una variedad de problemas como accidentes cerebrovasculares, trastornos del sistema autoinmune, y enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas” (Center for International Environmental Law, 2015). Por otra parte, Los microplásticos en la atmósfera son potencialmente transportados por el viento y depositados en el medio ambiente acuático, lo que detiene a evaluar a la atmosfera como una posible fuente de microplásticos en los cuerpos de agua. (Chen, Feng, & Wang, 2020; Prata, da Costa, Lopes, Duarte, & Rocha-Santos, 2020).

El contacto dérmico con microplásticos se considera una ruta de exposición menos significativa que las demás, por lo general, esta ruta se asocia más a menudo con la exposición a monómeros y aditivos de plásticos, como los disruptores endocrinos bisfenol A y ftalatos, del uso diario de aparatos comunes. Aunque mediante contacto dérmico las células epiteliales humanas pueden sufrir estrés oxidativo debido a la exposición a micro y nanoplásticos. Por lo tanto, los posibles efectos adversos de los nanoplásticos y la exposición dérmica generalizada a partículas de plástico (es decir, polvo, fibras sintéticas y microperlas en cosméticos) respaldan la necesidad de avanzar en más investigaciones en esta área (Prata et al., 2019).

La ingestión se considera la ruta más importante de exposición humana a los microplásticos (Prata et al., 2019). Estas micropartículas pueden llegar al sistema gastrointestinal a través de alimentos contaminados o a través del aclaramiento mucociliar después de la inhalación, lo que posiblemente conduzca a una respuesta inflamatoria, una mayor permeabilidad y cambios en la composición y el metabolismo de los microbios intestinales (Prata et al., 2019). Además, afectan el sistema cardiovascular, renal, neurológico, reproductivo, y respiratorio; incluyendo impactos como cáncer, diabetes y toxicidad neurológica y reproductiva”. Center for International Environmental Law, 2015). Por otro lado, al degradarse las partículas de plástico, quedan expuestas superficies nuevas, lo que posibilita la liberación continua de aditivos del interior a la superficie de la partícula en el ambiente y en el cuerpo humano.

Sin embargo, hoy en día no se conoce con exactitud el riesgo de ingerir microplásticos, ya que se han realizado pocas investigaciones sobre la estimación de la exposición humana general y sus posibles efectos.

4.3 MANEJO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN EL RECURSO HÍDRICO

4.3.1 Marco Normativo

A nivel mundial, el desarrollo de la legislación se ha enfocado en las últimas tres décadas en la gestión, los riesgos e impactos de los plásticos en el medio ambiente (Lam et al., 2018). Hoy en día no se tiene una normativa vigente en términos de las concentraciones de microplásticos permisibles en los vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua, pero ante las evidencias científicas y las demandas de ciudadanos y ecologistas por las diferentes afectaciones de los microplásticos a los seres humanos y al medio ambiente, se empieza a desplegar una variedad de iniciativas y normativas a nivel internacional con el objetivo de manejar y controlar la presencia de las microperlas en los cuerpos de agua. Es así como en países como Estados Unidos “el Congreso modificó la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (Ley FD&C) y aprobó la Ley de Aguas Libres de Microperlas (Microbead-Free Waters Act) en el año de 2015” (Oct, 2016); donde esta Ley “prohíbe la fabricación, el envasado y la distribución de cosméticos que se enjuaguen y que contengan microperlas de plástico” (The Microbead-Free Waters Act, 2019).

De este modo, todos los cosméticos que tengan un proceso de enjuague, donde está incluida la pasta de dientes, protectores solares, geles de ducha, ropa sintética (poliéster, nylon, acrílico), cremas de exfoliación facial y corporal, entre otros, que contienen microperlas añadidas intencionalmente y están destinados a exfoliar o limpiar el cuerpo serán cubiertos por esta ley. Además, esta ley establece fechas límites para los cosméticos de enjuague y para los cosméticos que también son medicamentos sin receta (Oct, 2016).

Así mismo, Canadá, a través de la regulación canadiense Microbeads in Toiletries (Microplásticos en los productos de higiene), prohibió la fabricación de productos de cuidado personal con contenido de microperlas de 5 mm o menores. Además, prohibió fabricar o importar artículos que contengan microperlas, exceptuando aquellos productos sanitarios o medicamentos naturales o sin recetas. En cuyo caso la prohibición se aplicó a partir del 1 de julio de 2018 (Government of Canada, 2018). En Australia, las industrias y el gobierno han

comenzado a tomar medidas para reducir los impactos de las microperlas en el medio marino (Lam et al., 2018).

En Colombia, en el marco de la Resolución No. 646 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se realizó la primera evaluación de microplásticos en departamentos costeros del país como un avance en el conocimiento sobre el estado de contaminación en las zonas marino-costeras de Colombia, principalmente en el tema de plásticos y microplásticos con el fin de formular estrategias para abordar la problemática de este tipo de basura marina. Como producto final de este estudio se desarrolló el protocolo de muestreo y análisis de microplásticos en aguas marinas superficiales, sedimentos de playa y tracto digestivos de peces, que consiste en una compilación de metodologías y técnicas adaptadas a las zonas costeras del país como una herramienta para el monitoreo de este tipo de contaminantes (INVEMAR, 2017).

Es importante mencionar que en Colombia no existe ninguna normativa que regule el uso de los productos que contengan microplásticos. Actualmente en Colombia se han tomado medidas para reducir el uso de bolsas plásticas, las cuales son uno de los mayores residuos de plástico a nivel mundial. En concordancia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) reglamentó mediante la Resolución No. 668 de 2016, el uso racional de bolsas plásticas, imponiendo a cargo de los distribuidores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un programa de uso racional de bolsas plásticas, distribuidas en los puntos de pago en todo el territorio colombiano. Es preciso mencionar que la Resolución No. 668 de 2016 fue modificada por la Resolución No. 2184 de 2019 con el objetivo de realizar ajustes y precisiones en lo referente al cumplimiento de ciertos indicadores y metas que apuntan a la reducción del número de bolsas distribuidas en los puntos de pago. Al mismo tiempo el MADS expidió la Resolución 1558 de 2019 en la cual se prohíbe el ingreso de plásticos de un solo uso en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia con el objetivo de mitigar la contaminación de las aguas, los suelos y demás recursos naturales renovables.

Asimismo, con el fin de disminuir el uso de las bolsas plásticas, Colombia implementó un impuesto por la utilización de estas que en 2017 fue de \$20 por cada bolsa plástica, valor que se proyectó a incrementar en \$10 por cada año hasta el año 2020, en el que se pagará \$50 por cada bolsa plástica según reportes de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN). Ciertamente, Colombia debe dar un paso a las respuestas para el manejo de la problemática de plásticos que se traduce en el aumento de las concentraciones de microplásticos en las fuentes de agua, esto mediante leyes que prohíban la fabricación, importación, venta y distribución de productos que contengan micropartículas en sus composiciones y productos plásticos de un solo uso que van a parar a los ecosistemas acuáticos, donde están sometidos a procesos de meteorización para convertirse en microplásticos secundarios.

4.3.2 Alternativas de tratamiento de los microplásticos

Hoy en día las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) están actuando como fuentes de microplásticos hacia el medio ambiente; varios estudios han demostrado que los microplásticos se eliminan efectivamente en las estaciones depuradoras de las aguas residuales y la mayoría de las partículas terminan en los lodos” (Lares, Ncibi et al., 2018). Sin embargo, los tratamientos convencionales de aguas residuales con procesos de tratamiento primario y secundario pueden eliminar hasta un 99% de las micropartículas, de este modo, las PTAR pueden ser una fuente importante de microplásticos en los cuerpos de agua receptores, dado a que vierten altos volúmenes de agua residual en sus efluentes (Talvitie, Mikola, Koistinen, &

Setälä, 2017) considerándose así una fuente puntual de estas micropartículas en los sistemas acuáticos.

De manera general, el tratamiento de aguas residuales incluye procesos de cribado, desarenación, sedimentación primaria, procesos biológicos, sedimentación secundaria y en algunos casos desinfección. Estos diferentes procesos de tratamiento están enfocados en la eliminación de materia orgánica biodegradable, que esté presente de manera coloidal o disuelta en las aguas residuales, así también aportan en la eliminación de compuestos que contienen nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P). No obstante, estudios recientes coinciden en que los procesos de pretratamiento eliminan los micropartículas de las aguas residuales a una pequeña tasa o parcial (Gatidou, Arvaniti, & Stasinakis, 2019).

En consecuencia, un porcentaje del 72 al 98% de los microplásticos parecen eliminarse en los procesos de tratamiento primario y el tratamiento secundario contribuye con un rango del 7 al 20% extra de eliminación (Gatidou et al., 2019). En los últimos años, el tratamiento terciario ha ido ganando terreno en la oportunidad de implementar tecnologías avanzadas que permitan eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes que no son eliminados en los procesos anteriores; estos procesos de tratamiento generalmente son una combinación de coagulación y sedimentación, filtración, adsorción de carbón activado, oxidación avanzada o tecnologías de membrana (Zhang, Chen, & Li, 2020). En ese sentido, las tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales pueden reducir sustancialmente la contaminación de microplásticos que es descargada por las PTAR a los ambientes acuáticos, sin embargo, la eliminación de micropartículas depende de la tecnología terciaria aplicada (Gatidou et al., 2019; Talvitie, Mikola, Koistinen, & Setälä, 2017). En el **Gráfico 4** se muestra las apariencias típicas de los microplásticos caracterizados en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual.

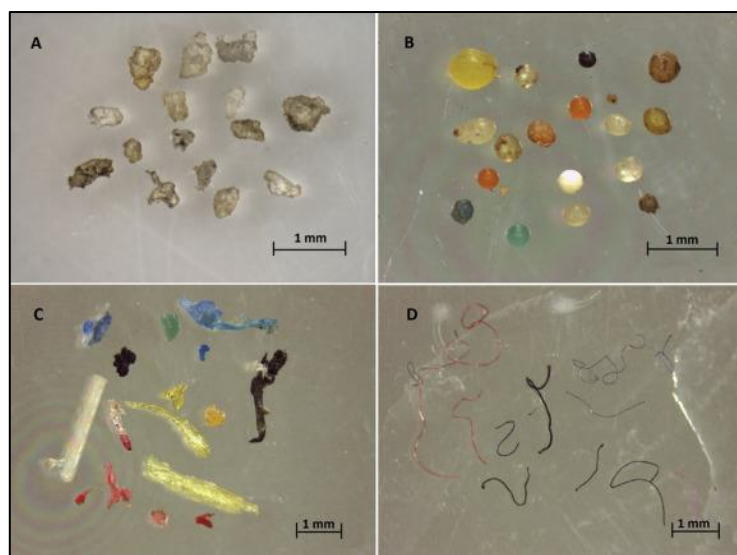


Gráfico 4. Microplásticos en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento

A y B: MP primarios, microperlas derivadas de productos para el cuidado personal. C y D: MP secundarios. Fragmentos de la descomposición de plásticos más grandes y fibras textiles sintéticas.

Fuente: (Talvitie et al., 2017).

Lares (2018) encontró que el proceso de biorreactor de membrana (MBR) tenía una eficiencia de eliminación de microplásticos ligeramente mejor (99.4%) en comparación con el proceso general basado en tratamientos convencionales (Lodo activado convencional) (98.3%).

Este estudio pone en evidencia la eficiencia de los MBR como una tecnología avanzada de tratamiento para este tipo de contaminante.

Otras alternativas de tratamiento avanzado para los microplásticos son la filtración, la incineración y procesos de oxidación avanzados, como la ozonización (la exposición del microplástico al ozono conduce a la formación de grupos carbonilo en la superficie del plástico), pero estos métodos requieren mucha energía o generan subproductos no deseados.

Actualmente, se han realizado diferentes investigaciones en materia de tratamiento de microplásticos, una de ellas es un proceso avanzado de oxidación denominado Nanorrevestimiento sometido a luz solar artificial, el cual consiste en la degradación de residuos de microplásticos fragmentados de polietileno de baja densidad (PEBD), mediante fotocatalisis heterogénea inducida por luz visible activada por nanotubos de óxido de zinc (Claim, 2019). También, hoy en día se están evaluando las sustancias poliméricas extracelulares (EPS) como una posible solución biocompetitiva y compatible para la contaminación por nano y microplásticos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo presente que las EPS son un biofilm producido por un conglomerado de microorganismos y que tienen un potencial prometedor en la capacidad de agregar la fracción de microplásticos <300 µm que los métodos convencionales de eliminación en el tratamiento de aguas residuales no pueden eliminar (Cunha et al., 2020).

4.4 PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE MICROPLÁSTICOS

4.4.1 *Gestión ambiental*

Según la norma ISO 14001, la gestión ambiental se define como la parte del sistema general de gestión que incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día la política ambiental. En ese sentido, la gestión ambiental es la gestión de los impactos ambientales que permite la optimización ambiental de los proyectos, y, por tanto, participa en la gestión integral de los mismos, al igual que la evaluación de los aspectos técnicos y económicos (Muriel, 2006). Además, la gestión ambiental es un mecanismo participativo de las situaciones ambientales de una región por los diversos actores, que buscan lograr el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad de vida de la población dentro de un marco de sostenibilidad (Muriel, 2006).

4.4.2 *Estrategias, programas y proyectos para la gestión ambiental de microplásticos a nivel municipal.*

En este subcapítulo se presentan elementos de carácter propositivo que buscan contribuir a la contextualización, conceptualización y proyección de estrategias que disminuyan la presencia de los microplásticos en el recurso hídrico, incluyendo los esfuerzos técnicos, administrativos y de visión social que deben ser desarrollados para mejorar la gestión ambiental de los microplásticos (

Tabla 2).

Tabla 2. Propuesta de Gestión Ambiental de microplásticos

| PROPUESTA GESTIÓN AMBIENTAL DE MICROPLÁSTICOS | ESTRATEGIAS | PROGRAMAS | PROYECTOS/ACTIVIDADES |
|--|---|--|---|
| | <p>1-Fortalecimiento Interinstitucional de Educación Ambiental en Microplásticos.</p> | <p>1. Formación en educación ambiental relacionada con microplásticos</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Organización y estructuración de asociaciones recuperadoras de residuos sólidos. - Realización de estrategias pedagógicas como talleres y sensibilizaciones orientadas al conocimiento de los microplásticos. - Creación de vínculos entre los instrumentos pertinentes, por ejemplo, el PGIRS. |
| | <p>2-Fomento y fortalecimiento de la participación de las comunidades a nivel urbano y rural, como el sector productivo en la gestión ambiental de microplásticos.</p> | <p>1. Formación integral en temáticas que aportan a la interpretación y problemática ambiental de los microplásticos</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Favorecimiento de espacios de formación dirigidos a la población en general. |
| | | <p>2. Elaboración de módulos temáticos enfocados a la conceptualización, contextualización y proyección de estrategias que disminuyan la presencia de los microplásticos en el recurso hídrico.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Promoción de alternativas sostenibles para el transporte de productos de la canasta familiar. - Realización de talleres y conversatorios en instituciones educativas urbanas y rurales. |
| <p>3-Fortalecimiento Social, articulación de acciones comunitarias a favor de la disminución de microplásticos en el recurso hídrico.</p> | <p>1. Realización de campañas de recuperación y mantenimiento de fuentes superficiales que eviten la presencia de plásticos en las mismas.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Articulación con otras instituciones para la promoción de un hábitat acuático sostenible. - Creación de grupos juveniles en Pro de la conservación del recurso hídrico. | |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | <p>4-Fomento y coordinación de soluciones impulsadas por la industria y el comercio</p> | <p>1. Participación de la Industria y comercio en la reducción de contaminación por plásticos.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Introducción de metas de reducción voluntarias a escalas municipal y regional. - Elaboración de una política de reducción de plásticos de un solo uso. - Fomentar la inversión en envases reutilizables y en nuevos sistemas de distribución de productos. |
|--|--|---|--|

4.4.3 Descripción propuesta de gestión ambiental de microplásticos

4.4.3.1 Línea estratégica 1: Fortalecimiento Interinstitucional de Educación Ambiental en Microplásticos.

La línea estratégica 1 tiene como objetivo contribuir a la institucionalización de la temática educativa ambiental relacionada con los microplásticos y su inserción en las dinámicas del desarrollo territorial, a través de los procesos de formación de los principales actores del municipio en la gestión ambiental como lo son las unidades de asistencia técnica municipal (UMATA), grupos recuperadores de residuos sólidos, la policía ambiental y las empresas prestadoras de servicios públicos.

Programa 1: Formación en educación ambiental relacionada con microplásticos.

Los proyectos y actividades que componen esta línea estratégica intervienen en la formación educativa y tiene las siguientes temáticas:

- a) Realización de estrategias pedagógicas como talleres y sensibilizaciones orientadas al conocimiento de los microplásticos, de su presencia y efectos en la salud y el medio ambiente.
- b) Realización de capacitaciones del manejo de los plásticos y su reducción, implementación de la separación en la fuente teniendo en cuenta el Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). Con el objetivo de propiciar una ruta para los grupos recuperadores de residuos sólidos como gestores ambientales.

4.4.3.2 Línea estratégica 2: Fomento y fortalecimiento de la participación de las comunidades a nivel urbano y rural, como el sector productivo en la gestión ambiental de microplásticos.

La línea estratégica 2 tiene como objetivo motivar la participación de la comunidad en general, así como los actores del sector productivo en los espacios de gestión ambiental de los microplásticos mediante estrategias educativas – ambientales.

Programa 1: Formación integral en temáticas que aportan a la interpretación y problemática ambiental de los microplásticos.

a) Favorecimiento de espacios de formación dirigidos a la población en general, donde se puedan exponer los siguientes temas:

- ¿Qué son los microplásticos?
- Descripción de las principales fuentes de microplásticos y productos del mercado que poseen microperlas.
- ¿Cuál es su ocurrencia en la salud humana y en el medio ambiente?

b) Realización de talleres y conversatorios en instituciones educativas urbanas y rurales; relacionadas con la presencia de microplásticos en el recurso hídrico, de tal manera que se puedan fortalecer los proyectos ambientales escolares (PRAES) y se generen campañas lideradas por los mismos orientadas a la capacitación de los sectores productivos frente al uso de las bolsas plásticas prescindibles.

c) Promoción y elaboración de alternativas sostenibles para el transporte y producción de alimentos de la canasta familiar, que permitan formar, capacitar y desarrollar habilidades en diferentes actores para su apropiación social, por ejemplo, la migración hacia materiales ecológicos que reemplacen las bolsas plásticas en su tarea de transporte de mercancía como envolturas en hojas de plátano, bolsas a base de material vegetal como fique, almidón, maíz. Etc.

Programa 2: Elaboración de módulos temáticos enfocados a la conceptualización, contextualización y proyección de estrategias que disminuyan la presencia de los microplásticos en el recurso hídrico.

a) Articulación con las fuerzas vivas del municipio como juntas de acción comunal, líderes ambientales, proyectos ambientales escolares (PRAES) y proyectos ciudadanos de educación ambiental (PROCEDAS); con el objetivo de construir estrategias didácticas conjuntas que den cuenta del proceso participativo y las reflexiones de la población en relación con la problemática ambiental de la presencia de microplásticos en el recurso hídrico mediante: folletos, cuentos, grafitis, presentaciones etc.

4.4.3.3 Línea estratégica 3: Fortalecimiento Social, articulación de acciones comunitarias a favor de la disminución de microplásticos en el recurso hídrico.

La línea estratégica 3 tiene como objetivo el diseño e implementación de acciones comunitarias que mitiguen la ocurrencia de microplásticos en el recurso hídrico.

Programa 1: Realización de campañas de recuperación y mantenimiento de fuentes superficiales que eviten la presencia de plásticos en las mismas.

a) Articulación con otras instituciones como autoridades ambientales y secretarías departamentales en los programas y proyectos con enfoque en la gestión, planeación y protección del recurso hídrico.

b) Creación de grupos juveniles en Pro de la conservación del recurso hídrico, donde se realicen actividades como videos, maquetas y acciones de educación para niños que ayuden a frenar la contaminación por plásticos y microplásticos.

4.4.3.4 Línea estratégica 4: Fomento y coordinación de soluciones impulsadas por la industria y el comercio.

La línea estratégica 4 tiene como objetivo estimular la responsabilidad social y ambiental de la industria y el comercio en atención a las demandas y preferencias de sus consumidores.

- a) Introducción de metas de reducción voluntarias a escalas municipal y regional.
- b) Elaborar una política de reducción de plásticos de un solo uso y un plan de transición que incluya aspectos de responsabilidad social; en el cual se puedan incluir otros materiales como el vidrio, material vegetal, entre otros.
- c) Fomentar la inversión en envases reutilizables y en nuevos sistemas de distribución de productos en los supermercados, restaurantes y demás establecimientos comerciales, con miras a la reducción de cubiertos de plástico, pitillos de plástico, envases de plástico para llevar como vasos para el café y tapas de plástico, utensilios de plástico para remover las bebidas, bolsas de plástico etc.

5 CONCLUSIONES

El objetivo de la monografía fue evaluar una de las problemáticas ambientales más importantes del siglo XXI como lo es la presencia de microplásticos en el medio ambiente; especialmente en el recurso hídrico. Actualmente es evidente apreciar que los seres humanos han creado una alta dependencia en torno a los materiales plásticos que de manera ubicua se presentan en los cuerpos de agua. De ahí que, hoy en día se reflejen los microplásticos como un contaminante emergente en el recurso hídrico que puede impactar negativamente la biota acuática como la salud de los seres humanos. Sin duda, en la actualidad se han venido desarrollando variedad de estudios sobre la presencia de los microplásticos en el agua, pero hay que señalar que la mayoría de estos estudios están enfocados principalmente en los cuerpos de agua marinos, siendo insuficientes los estudios desarrollados en cuerpos de agua dulce como ríos, reservorios y acuíferos. Por otro lado, hay que mencionar que los científicos deben llegar a un consenso sobre la clasificación del tamaño de las micropartículas, ya que existe una disgregación en el concepto de microplásticos por diferentes autores. Cabe resaltar, que la mayoría de los estudios han sido realizados por países desarrollados o del primer mundo, lo que ha permitido que estos países como Estados Unidos avancen en un manejo y control de los microplásticos de una manera más eficiente, por ejemplo mediante la creación de normativas que prohíban el uso de microperlas en los productos de uso cotidiano; mientras que en países subdesarrollados como Colombia no se cuenta con una normativa de prohibición de microplásticos y las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimiento de aguas residuales no contemplan este parámetro dentro de sus límites permisibles. Este hecho enmarca la necesidad de potencializar acciones políticas enfocadas en la mitigación de la contaminación producidas por microplásticos en el recurso hídrico que abarquen estudios y estrategias que permitan mejorar el monitoreo y la gestión de microplásticos en el agua dulce y que de esta manera ayude indirectamente a reducir la concentración de microplásticos en los cuerpos marinos.

Finalmente, es importante mencionar que falta mucho por avanzar en el estudio de los microplásticos y que aún existe una gran incertidumbre sobre las afectaciones que estos ocasionan al medio ambiente y a la salud de los humanos; lo que requiere no sólo de medidas

académicas y gubernamentales sino también de transformaciones sociales que direccionen hacia nuevos materiales de consumo más sostenibles.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Center for International Environmental Law. (2015). *El plástico y la salud*. 4. Retrieved from <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/03/Plastic-Health-Spanish.pdf>

Chen, G., Feng, Q., & Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of the Total Environment*, 703, 135504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Cunha, C., Silva, L., Paulo, J., Faria, M., Nogueira, N., & Cordeiro, N. (2020). Microalgal-based biopolymer for nano- and microplastic removal: a possible biosolution for wastewater treatment. *Environmental Pollution*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114385>

Galafassi, S., Nizzetto, L., & Volta, P. (2019). Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water. *Science of the Total Environment*, 693, 133499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.305>

Gatidou, G., Arvaniti, O. S., & Stasinakis, A. S. (2019). Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. *Journal of Hazardous Materials*, 367(June 2018), 504–512. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.081>

Gong, J., & Xie, P. (2020). Research progress in sources, analytical methods, eco-environmental effects, and control measures of microplastics. *Chemosphere*, 254, 126790. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126790>

Lam, C. S., Ramanathan, S., Carbery, M., Gray, K., Vanka, K. S., Maurin, C., ... Palanisami, T. (2018). A Comprehensive Analysis of Plastics and Microplastic Legislation Worldwide. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(11). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4002-z>

Lambert, S., & Wagner, M. (2018). Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. In M. Wagner & S. Lambert (Eds.), *Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?* (pp. 1–23). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1

Laskar, N., & Kumar, U. (2019). Plastics and microplastics: A threat to environment. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100352>

Li, C., Busquets, R., & Campos, L. C. (2020). Assessment of microplastics in

freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment*, 707, 135578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578>

Marín Galvín, R., Rosado Sanz, A., Paraira Faus, M., Carranza Egaña, I., Jimenez Jimenez, J. I., Perez-Baroja Verde, I., ... Lacorte, S. (2019). Microplásticos en aguas : presencia , investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano. *TecnoAqua*, n° 36-Ma, 76–86.

Meng, Y., Kelly, F. J., & Wright, S. L. (2019). Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. *Environmental Pollution*, 113445. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>

Muriel, R. (2006). La Gestión Ambiental. *Ide@Sostenible*, (13), 1.

Oct, P. L. A. W. (2016). *Public Law 114 – 231 114th Congress An Act*. 949–957.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>

Rios Mendoza, L. M., Karapanagioti, H., & Álvarez, N. R. (2018). Micro(nanoplastics) in the marine environment: Current knowledge and gaps. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 1, 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.004>

Rojo-Nieto, E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas , plásticos y microplásticos. In *España*. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.01.004>

Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27. Retrieved from <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>

Wagner, M., & Lambert, S. (2018). *Freshwater Microplastics - The Handbook of Environmental Chemistry* 58. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>

Zhang, X., Chen, J., & Li, J. (2020). The removal of microplastics in the wastewater treatment process and their potential impact on anaerobic digestion due to pollutants association. *Chemosphere*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126360>