



# MICROPLASTICS: A CONTAMINANT THAT GROWS IN ALL ENVIRONMENTAL AREAS, ITS CHARACTERISTICS AND POSSIBLE RISKS TO PUBLIC HEALTH FROM EXPOSURE

## MICROPLÁSTICOS: UN CONTAMINANTE QUE CRECE EN TODAS LAS ESFERAS AMBIENTALES, SUS CARACTERÍSTICAS Y POSIBLES RIESGOS PARA LA SALUD PÚBLICA POR EXPOSICIÓN

Received 07 10 2020  
Accepted 08 04 2020  
Published 08 30 2020

Vol. 37, No.3, pp. 160-175, Jul./Ago.2020  
Revista Boliviana de Química

37(3), 160-175, Jul./Aug. 2020  
Bolivian Journal of Chemistry  
DOI: 10.34098/2078-3949.37.3.4



Short review

Peer-reviewed

Grover Castañeta<sup>1,\*</sup>, Abel F. Gutiérrez<sup>1</sup>, Fallon Nacaratte<sup>2</sup>, Carlos A. Manzano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Químicas IIQ, Carrera de Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Puras y Naturales FCPN, Universidad Mayor de San Andrés UMSA, P.O. Box 303, Calle Andrés Bello s/n, Ciudad Universitaria Cota Cota, La Paz, Bolivia, gcastaneta1@umsa.bo, agutierrez@fcpn.edu.bo, www.umsa.bo

<sup>2</sup>Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, P.O. Box 653, Calle Las Palmeras 3425, Santiago, Chile, carlos.manzano@uchile.cl, fallon@uchile.cl

**Keywords:** *Plastic pollution, Microplastics, Plastic waste, Public Health, Environment, Microplastics in South America.*

**Palabras clave:** *Contaminación plástica, Microplásticos, Residuos plásticos, Salud pública, Medio ambiente, Microplásticos en Sudamérica.*

### ABSTRACT

Microplastics (MPs) have become a major challenge for environmental science, analytical chemistry, and environmental toxicology in recent years. These have attracted worldwide attention in their category of emerging pollutants due to their interactions and persistence in the environment, in addition to their origin from poor management in the treatment of urban center waste, as well as poor industrial practices and their use. indiscriminate. MPs are currently scattered all over the planet, from oceans to rivers, sediments, soil, air, living organisms and even in food resources and remote areas of the planet such as the Arctic and mountainous glaciers. Therefore, this review aims to inform about the formation, types, sources, interaction with pollutants and possible health consequences of PMs present in the environment. We seek to raise awareness that currently people are living alongside MPs without realizing it. In addition, this review also includes a brief tour of the latest studies that have been carried out in South America, conceptualizing the local and regional reality with respect to this global problem.



\*Corresponding author: [governeoaxel@gmail.com](mailto:governeoaxel@gmail.com), [gcastaneta@outlook.es](mailto:gcastaneta@outlook.es)

## RESUMEN

Los microplásticos (MPs) se han convertido en un desafío importante para las ciencias ambientales, química analítica y toxicología ambiental en los últimos años. Estos han atraído la atención mundial en su categoría de contaminantes emergentes debido a sus interacciones y persistencia en el medioambiente, además de su origen a partir de una deficiente gestión en el tratamiento de los residuos de centros urbanos, además de malas prácticas industriales y su uso indiscriminado. Los MPs actualmente están dispersos por todas partes del planeta, desde los océanos hasta los ríos, sedimentos, suelo, aire, organismos vivos e incluso en los recursos alimenticios y zonas remotas del planeta como el ártico y glaciares montañosos. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo el informar acerca de la formación, tipos, fuentes, interacción con contaminantes y posibles consecuencias en la salud por los MPs presentes en el medioambiente. Buscamos concientizar de que en la actualidad se está viviendo junto a los MPs sin darnos cuenta. Además, esta revisión también incluye un breve recorrido por los últimos estudios que se han realizado en Sudamérica, conceptualizando la realidad local y regional con respecto a este problema de carácter global.

## INTRODUCCIÓN

En el último tiempo el plástico se volvió un material muy común e indispensable, llegando a ser uno de los materiales más producidos por el hombre. Pero como todo en exceso es malo, en la actualidad los plásticos atentan contra el bienestar de la salud pública y del medio ambiente [1]. El primer plástico que se sintetizó químicamente fue la baquelita en 1907 [2], pero el primer polímero plástico patentado fue el nailon en 1938 [3]. Desde ahí los derivados de productos petroquímicos, como los plásticos se abrieron campo y se introdujeron a gran escala en la producción mundial, a mediados del siglo XX, dando origen a “La Era del Plástico” [4]. La variedad en los materiales plásticos con diversas características y propiedades físicas fueron en aumento y apareciendo a lo largo de los años [5], estos se pueden apreciar en la tabla 1.

*Tabla 1. Breve cronología de la invención de los materiales poliméricos*

Polímero	Acrónimo	Origen	Año
Caucho	-	Natural	1839
Parkesina	-	Semisintético	1862
Celuloide	-	Semisintético	1863
Rayón	-	Semisintético	1894
Baquelita	BK	Sintético	1907
Vinilo	PVC	Sintético	1926
Polietileno de baja densidad	LDPE	Sintético	1935
Politetrafluoroetileno	PTFE	Sintético	1938
Poliestireno	PS	Sintético	1938
Nylon	PA	Sintético	1939
Tereftalato de polietileno	PET	Sintético	1941
Poliéster insaturado	UP	Sintético	1942
Polipropileno	PP	Sintético	1951
Polietileno de alta densidad	HDPE	Sintético	1951
Poliestireno extruido	XPS	Sintético	1954
Poliésteres termoplásticos	-	Sintético	1970
Polímeros de cristal líquido	LCP	Sintético	1985

Debido a la demanda de plásticos, la producción de éstos ha aumentado dramáticamente en los últimos 65 años [6,7]. En 1950 se producían alrededor de 2 millones de toneladas de plástico en el mundo, pero en 2015 se llegó a producir 381 millones de toneladas, incrementado casi en 200 veces la producción [1]. De éstos, el 50% de plásticos son desechables o de un solo uso [6] generando un crecimiento exponencial en la cantidad global de residuos plásticos en el mundo [8]. El plástico es un material sintético duradero que resiste a la degradación química y física, lo cual se ha



traducido en una preocupación ambiental generalizada [4], porque los desechos plásticos se están acumulando indiscriminadamente en hábitats terrestres, acuáticos y en ecosistemas de todo el planeta a medida que estos se fragmentan progresivamente en pedazos más pequeños [9].

El capitán oceanógrafo estadounidense Charles Moore al aventurarse por el vórtice subtropical del Pacífico norte, se asombró cuando encontró en el mar una isla artificial al que denominó como un “basurero flotante” donde se observaban botellas, envoltorios, contenedores, bolsas, pañales entre otros que parecía no tener fin y estimo que hacia el año 2050 habría más plástico que peces en el mar [3], llegando a tener aproximadamente 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos [1]. El 58% de los plásticos fabricados es destinado para embalaje y material de construcción, mientras que el otro 42% se reparte para material electrónico, muebles, transporte, agricultura, juguetes, medicina, y otros [10]. Esta producción está lejos de ser disminuida, debido a la alta demanda de plásticos y su bajo costo de producción. Hasta la fecha, aun cuando se busca materiales alternativos como los bioplásticos, sus condiciones de degradación aún generan un impacto a los ecosistemas [11,12].

Esta revisión presenta los conceptos fundamentales de los plásticos, sus procesos de fragmentación en el medioambiente y su transformación en microplásticos, sus interacciones con contaminantes orgánicos e inorgánicos, además de su distribución en los diferentes compartimientos ambientales. Finalmente, el artículo presenta una descripción de los microplásticos desde una perspectiva sudamericana, analizando los estudios realizados en esta región del planeta, para que se plantee una posible hoja de ruta para el desarrollo de la investigación local.

## TAMAÑOS DE PARTÍCULAS MICROPLÁSTICAS

Los microplásticos (MPs) se encuentran en diversas formas en el medio ambiente tales como esferas, cuentas, *pellets*, espuma, fibras, fragmentos, y escamas. Estas formas dependen de la forma original de los plásticos primarios, su proceso de degradación y las condiciones de erosión a las que fueron expuestos [13].

La mayoría de las investigaciones reportan a las partículas microplásticas de un tamaño o diámetro menores a 5 mm [14-25], las cuales son similares al tamaño de las microperlas de productos de uso doméstico [17]. Pero algunos estudios reportan sus resultados obtenidos con MPs de tamaños <1 mm [9,26,27]. En la actualidad, el rango aceptado como MPs incluye a ambos, ya que en uno de los acuerdos más recientes se definió que el rango de tamaño de MPs se debe encontrar entre 5 mm a 1  $\mu\text{m}$  de tamaño, siendo que las partículas menores a 1  $\mu\text{m}$  serían definidos como nanoplásticos (NPs) [13]. Otros rangos de tamaño están representados por mega, macro y meso plásticos descritos en la figura 1.

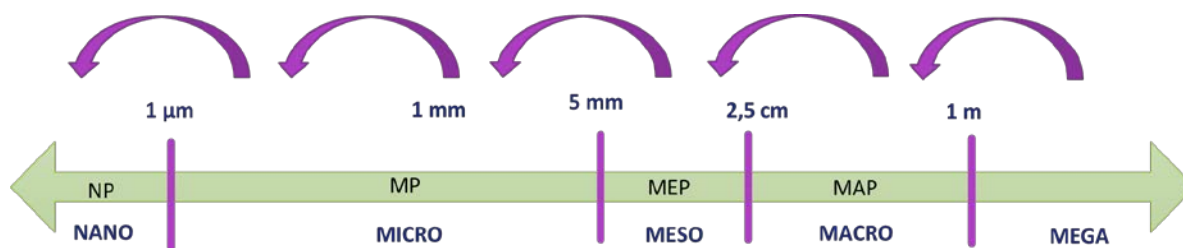


Figura 1. Escala de tamaños actualmente aceptada para los plásticos y sus productos de degradación física.

## CLASIFICACIÓN Y FUENTES DE MPs

Los polímeros sintéticos, naturales (biopolímeros: seda, madera, almidón, caucho, entre otros) y modificados (semisintéticos: la nitrocelulosa, etonita, caucho vulcanizado, entre otros) [28], son una fuente potencial de MPs [29]. La alta persistencia de estos materiales en el medioambiente [16], hace que los fragmentos (incluidos MPs) que provienen principalmente de materiales comunes como la ropa (poliéster, acrílico), embalaje (polietileno, polipropileno), cuerdas (poliamidas) [9], fibras de polipropileno, polietileno y poliamida [26] sean un contaminante para todos los ecosistemas. Según su origen, los MPs se pueden clasificar en dos grupos: primarios y secundarios.



**MPs primarios:** Los MPs primarios son fabricados intencionalmente para aplicaciones particulares (por ejemplo, las microperlas o los *pellets*). La necesidad de crear MPs primarios es por su implementación en productos tales como: de limpieza [9,17], cosméticos [17], pinturas [30], exfoliantes, pasta de dientes [6,22]. En otras palabras, todas estas fuentes constituyen una contribución al aumento significativo de MPs al medioambiente [31]. En muchos casos, los MPs primarios son usados debido a su versatilidad y bajo costo con la función de sustituir a ingredientes naturales costosos. También se usan partículas de MPs de acrílico, melanina y poliéster para implementos de limpieza de maquinarias y barcos [9].

Paralelamente, los MPs primarios se utilizan también para la creación de macrolásticos, como es el caso de los *pellets*, los cuales se utilizan en procesos de moldeado, extrusión, entre otros, con el objetivo de colocarlos en diferentes moldes y fundirlos para adquirir la forma del objeto plástico en el que se transformaran [20].

Algunos MPs primarios y sus aditivos (compuestos químicos agregados para conferir y mejorar ciertas propiedades de los plásticos, particularmente ftalatos) provienen también en una variedad de aplicaciones médicas, incluido algunos medicamentos [9]. Como el Asacol, este es un medicamento empleado para el tratamiento de la colitis ulcerosa leve a moderada, donde se ha encontrado ftalato de monobutilo y ftalato de dimetilo en una concentración conjunta de 16,868 ng/mL. Su principal aplicación se produce en el revestimiento entérico de una capsula o comprimido, confiriendo cierta elasticidad al producto final. El revestimiento entérico brinda varias ventajas a estos productos, uno de ellos es la resistencia a la digestión gástrica o la degradación del fármaco antes de llegar al intestino y en otros casos va muy relacionado con la velocidad de absorción del principio activo. Como este, existen otros fármacos (Videx EC, Creon, entre otros) con compuestos ftálicos en su composición que pueden cumplir las funciones de excipientes, saborizantes artificiales o como revestimiento entérico [32].

**MPs secundarios:** Los MPs secundarios se generan a través de la fragmentación y/o degradación selectiva de macrolásticos expuestos a factores externos que puede ocurrir durante su transporte a diferentes ecosistemas [4,9,16,33]. En este grupo también se incluye a las fibras sintéticas provenientes de los textiles [3,9,19,31,34]. La fragmentación de los macrolásticos se puede realizar por fenómenos químicos y físicos combinados, como la fotodegradación (fotólisis), es decir cuando la luz solar oxida la estructura química de los polímeros y causa escisiones de enlaces que reducen la masa molecular de los polímeros volviéndolos frágiles y propensos a rupturas, dando a lugar a pequeños fragmentos [9]. También puede darse por fenómenos biológicos, debido a que algunos plásticos son susceptibles a la biodegradación por bacterias y hongos. En algunos ambientes, como los ambientes marinos, los macrolásticos están también expuestos a una degradación mecánica que ocurre por el efecto sinérgico entre la acción del viento y las olas, además de la abrasión de partículas plásticas en sedimentos y arena [9,35]. Por otro lado, las fibras de origen animal, vegetal y sintético presentes en las prendas de vestir [36] pueden ser liberadas como MPs durante el lavado de ropa, de las lavadoras hacia las aguas de desecho [16,22,26,33]; incluso al solo abrir y manejar envases de plástico se puede generar MPs por abrasión que luego son liberados al medioambiente [37].

Otras fuentes de MPs secundarios destacables corresponden al desgaste de los neumáticos, considerado como una fuente sigilosa de MPs secundarios para el medioambiente. Este desgaste está regido a factores como el tipo de pavimento, la temperatura, la velocidad, la edad y composición del neumático [29]. Además, también están los MPs secundarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, desechos urbanos, rellenos sanitarios, áreas industriales [19] y vertederos, debido a la incineración de residuos plásticos [33].

## MICROPLÁSTICOS COMO CONTAMINANTES AMBIENTALES Y SUS RIESGOS

La contaminación plástica representa una de las amenazas globales actuales, y está considerada como uno de los indicadores más destacados para evaluar el impacto de la sociedad humana en el medioambiente [38]. Debido a su alta demanda, uso y mala administración de sus residuos, los plásticos están acumulándose y fragmentándose en todos los ecosistemas del mundo. Además, se van incluyendo en las diferentes cadenas tróficas y también están relacionados con impactos físicos en la biota como el enredo, inanición y asfixia de varias especies de vida silvestre [4,9]. En este contexto, se han encontrado residuos plásticos en el interior de animales, y en varios compartimientos ambientales [4]. Algunos de los polímeros que se encontraron en diferentes ecosistemas [9,10,39] se muestran en la figura 3.

**Cocteles de contaminación:** Sin embargo, los MPs en el medioambiente no están compuestos únicamente de polímeros estructurales (macromoléculas), y más bien se pueden considerar como una especie de cocteles complejos de contaminantes. Se ha comprobado que los MPs pueden interactuar y sorber fácilmente sustancias tóxicas en su superficie, para luego liberarlos [17,22,40]. Entre estas destacan sustancias micromoleculares como aditivos químicos (ftalatos), monómeros residuales y sustancias como retardadores de flama, biocidas, hidrocarburos poliaromáticos,



entre otros [40,41]. Los mecanismos de afinidad se encuentran influidos por diversos factores, como se observan en la Figura 4, que de manera sincrónica permiten el transporte de sustancias con rangos variados de polaridad como DDT y hexaclorobenceno [13], e incluso tienen la capacidad de sorber metales pesados como  $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$  [42]. Esta capacidad puede verse afectada por factores externos como el envejecimiento por radiación ultravioleta (UV). Por ejemplo, un estudio reciente reporta que el poliestireno (PS) aumenta significativamente su capacidad de adsorción de metales pesados en su superficie después de exposiciones prolongadas de radiación UV en diferentes condiciones (aire, agua pura y de mar) [7]. Así mismo, la liberación o lixiviación de compuestos químicos a su medio ha sido observada en productos alimenticios [43], comida recalentada en contenedores plásticos, entre otros [44].



Figura 2. Resumen de la clasificación, fuentes y donde desembocan los MPs.

Además, los MPs pueden actuar como sustrato para parásitos patógenos [41] y microorganismos elevando la preocupación sobre sus efectos ecológicos [14,41]. Por todo esto Vethaak propuso la hipótesis que los MPs actúan como un “caballo de Troya”, haciendo alusión al mecanismo por el cual se ingiere o inhala involuntariamente partículas plásticas (MPs y NPs) incluyendo sustancias tóxicas hacia el interior de los organismos vivos [41]. Los MPs, entonces, se consideran como un vector de transporte de contaminantes y patógenos [45], y su ingestión proporciona una vía potencial para la transferencia de contaminantes como monómeros y aditivos tóxicos, entre otros contaminantes [26,46].

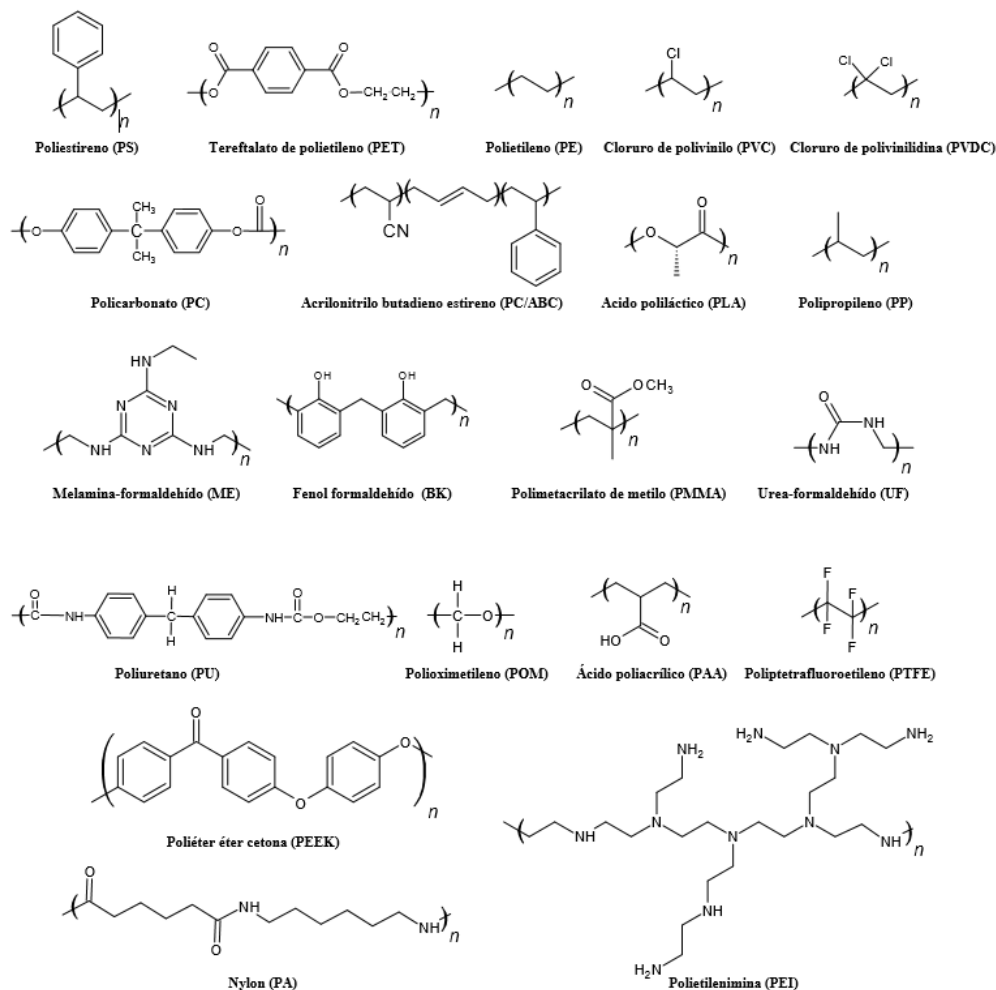


Figura 3. Estructura de polímeros encontrados como microplásticos en el medio ambiente.

Otro punto de vista a considerar es que los polímeros están compuestos de subunidades llamadas monómeros (Tabla 2), de los cuales muchos son tóxicos y están vinculados a enfermedades como el cáncer y anomalías reproductivas en humanos, roedores e invertebrados [9]. Un ejemplo es el polímero de PS del que su toxicidad como polímero es aún incierta, pero su monómero (el estireno) es un conocido tóxico y está clasificado como una sustancia potencialmente cancerígena. Estudios *in-vivo* sugieren que las nanopartículas de PS pueden penetrar a los organismos a través de la piel y llegar a las vías respiratorias y digestivas [47]. Estos estudios confirman y refuerzan la idea del potencial riesgo a la salud que podría representar la ingestión de partículas de ciertos MPs para organismos vivos. Los posibles riesgos asociados a otros monómeros pueden observarse en la tabla 2.

**Contaminación por MPs:** La contaminación por MPs comenzó como una problemática de contaminación marina, pero en la actualidad se ha convertido en un problema de salud pública [41]. Hoy en día, diversos estudios revelan que los MPs están distribuidos en todos los continentes y océanos del planeta. Debido a que los MPs continuamente se están fragmentando y distribuyendo en el planeta, se han logrado reportar partículas de MPs en el aire, suelo, sedimentos, aguas interiores y exteriores [41], arena de playa [22], sistemas marinos, columnas de agua, sedimentos de aguas profundas [17], mar profundo, incluso llegando a zonas remotas como las regiones polares [60,61] y glaciares [62,63]. De hecho, un estudio afirma que, sin importar el lugar y la fecha de muestreo, si se toma una muestra siempre se encontrara con microplásticos e incluso *pellets* de plásticos [35].

Las consecuencias de los MPs y su ubicuidad se comenzaron a estudiar con más detalle y profundidad a principios del siglo XXI [60]. Sin embargo, la limitante es aún la inconsistencia en los métodos de muestreo y las unidades de concentración, lo que hace difícil la comparación entre estudios [20]. A pesar de que existen varias



investigaciones en curso, los efectos ecológicos por la contaminación de MPs son aún poco conocidas e inciertas [15,17].

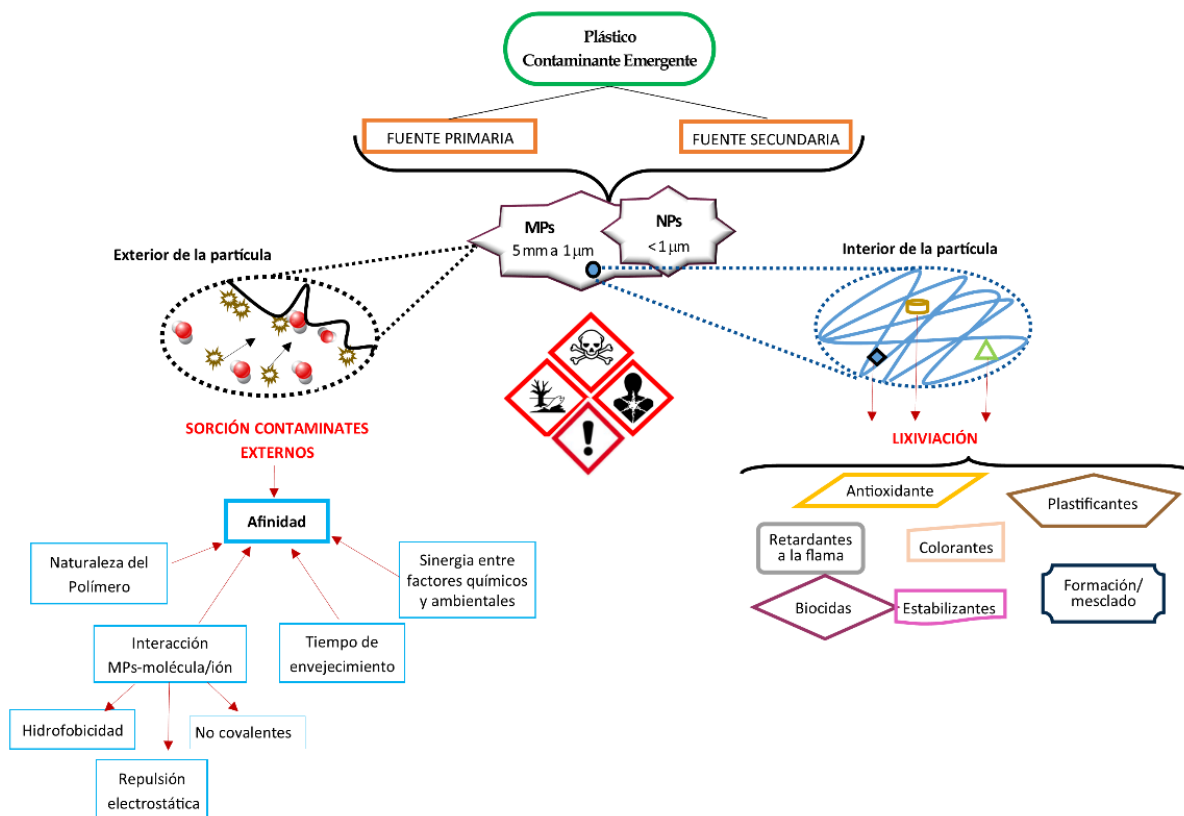


Figura 4. Representación del coctel químico y la facilidad de transporte de otras sustancias que involucra a las partículas plásticas (MPs o NPs).

## MICROPLÁSTICOS EN COMPARTIMIENTOS AMBIENTALES

**MPs en cuerpos de agua:** MPs (secundarios y primarios) son mayormente liberados en las aguas residuales de centros urbanos y ríos [26,64-66], los cuales después se dirigen a diferentes ecosistemas y terminan eventualmente en una captación trófica (ingestión) e inevitablemente llegan a niveles que podrían afectar a la salud humana [4,13]. En este contexto, las lavadoras domésticas han sido identificadas como la fuente principal de estos MPs, encontrando que pueden llegar a producir más de 1.900 fibras de MPs por ciclo de lavado [26]. Esto resulta alarmante debido a que la población humana crece y las personas cada vez usan más textiles sintéticos, lo que seguirá aumentando la contaminación por MPs. Además, se ha encontrado que estas partículas, pueden ser colonizadas por bacterias que son taxonómicamente distintas a las presentes en el agua de los ríos y su materia orgánica suspendida. Demostrando que los MPs pueden ser considerados como un habitat microbiano distinto y un vector novedoso para el trasporte de microorganismos [14].

El destino principal de las aguas residuales son los ríos urbanos. Los ríos urbanos pueden tener una gran importancia en el transporte de MPs hacia hábitats marinos y grandes lagos. Sin embargo, existe una escasez de datos sobre MPs y sus concentraciones en ríos importantes, a pesar de que en la última década las investigaciones sobre MPs se han incrementado [17,67,68]. Con respecto a los lagos, una investigación en la zona de Los Grandes Lagos de Estados Unidos informó que el recuento de MPs varía de 0-450.000 partículas de MPs por km<sup>2</sup>. Una densidad promedio de MP mucho más baja fue encontrada en un lago de Mongolia (20.264 partículas por km<sup>2</sup>), en donde no se observaron microperlas, pero principalmente estaban compuestas de residuos de botellas plásticas y redes de pesca [23]. Sin embargo, la variabilidad espacial representa un reto analítico, pero también para la generación de políticas públicas eficaces. Así lo demostró un estudio en el Reino Unido, en donde mediante un estudio de 12 meses se



exploró la variación temporal de MPs en un sistema de agua, incluyendo posibles deposiciones atmosféricas dentro de su cuenca. Se encontraron concentraciones bajas (0.4 partículas/L en todos sus sitios), pero se concluyó que es importante realizar más estudios similares para evaluar la variabilidad de datos y así mejorar la alimentación de datos hacia los tomadores de decisiones [38].

**Tabla 2.** Polímeros comunes, monómeros, usos y sus posibles riesgos.

Polímero	Monómero	Uso común	Posible riesgo	Ref.
PS	Estireno	Envases desechables	Cancerígeno, neurotóxico, genotóxico	[47-49]
PET	Ácido Tereftálico - etilenglicol	Botellas, empaques de comida, confección de ropa	Acidosis urinaria, eliminación alterada de electrolitos y hipercalcemia	[50,51]
PVC	Cloruro de vinilo	Plástico de vinilo, películas y tuberías de agua	Cancerígeno, obstrucción respiratoria	[52]
PLA	Ácido láctico	Implantes médicos como dermatológicos y cosméticos	Cancerígeno y enfermedades genéticas	[53]
PMMA	Metacrilato de metilo	Ventanas, plásticos transparentes	Irritación cutánea y daño endotelial corneal producido por contacto directo	[54]
UF	Urea - formaldehído	Interruptores de electricidad, pantallas de lámpara, recipiente de cosméticos	Dermatitis, prurito, asma	[55]
PU	Diol - diisocianato	Fibras elásticas	Intoxicaciones por inhalación de CO, CO <sub>2</sub> y HCN producidos en la descomposición térmica	[56]
PP	Propileno	Juguetes, equipos de laboratorio, componentes automotrices, empaque de alimentos	Citotoxicidad a dosis altas, aumento en la liberación de histaminas	[57]
PTFE	Tetrafluoretileno	Recubrimiento para sartenes y utensilios antiadherentes	Astenia, Parestesia, cancerígeno, hipotiroidismo, resistencia a la insulina, obesidad	[58,59]

Los ecosistemas más estudiados en cuanto a la presencia de MP son los océanos y han sido documentados en casi todos los tipos de ambientes marinos y playas. Los desechos plásticos en la superficie de océano Atlántico y Pacífico se reportaron por primera vez a principios del año 1970 [4,17]. Las investigaciones recientes apuntan a una fragmentación selectiva por tamaño y un transporte de MPs a aguas más profundas a través de procesos físicos y biológicos. Además, como los MPs permanecen durante muchos años en los océanos (al estar protegidos de degradaciones por factores externos), estos pueden ser ingeridos por una amplia variedad de organismos marinos [14,15,26]. Algunos estudios en los últimos años revelan que posiblemente la mayor concentración de MPs se encuentran a 200 y 600 m de profundidad en el mar [4]. De esta forma, los depósitos de MPs marinos más grandes, y actualmente poco estudiados, pueden estar en cuerpos de agua y comunidades de animales de las profundidades del mar [4], lo cual fue demostrado por un estudio de comunidades de plancton [69].

Finalmente, uno de los reservorios naturales de agua más grandes del planeta, los glaciares, también presentan concentraciones medibles de MPs. Los glaciares son bloques de hielo, grandes reservorios hidrológicos esenciales que almacenan y liberan agua en varias escalas de tiempo [70]. Los MPs que están atrapados en este hielo, y a medida que este se derrita, podría liberar partículas antropogénicas al océano abierto. En los lugares más remotos del ártico se reveló que existen partículas de MPs acumulado en lugares lejanos de centros poblacionales y que el hielo marino podría ser un importante sumidero mundial histórico de partículas hechas por el hombre [63].





A pesar de que el conocimiento mundial acerca de los MPs ha aumentado significativamente, aún se carece de una comprensión integral acerca de las concentraciones, ciclos y destinos de los desechos plásticos en cuerpos de agua, todo esto limita la capacidad de implementar políticas efectivas a gran escala y estratégicas de conservación [4].

**MPs en la atmósfera:** En los últimos años, se ha detectado la presencia de MPs en atmósferas de áreas urbanas, suburbanas, e incluso en zonas remotas, lo que hace pensar en el posible transporte atmosférico de MPs de larga distancia [13]. Razón por la cual, se requieren más estudios para investigar las fibras atmosféricas para comprender su origen, destino y mecanismos o factores que afectan su transporte y posterior deposición [33]. El transporte atmosférico de MPs se considera importante, ya que podría conducir a su deposición en suelos y ambientes acuáticos [13] por acción de los vientos o las lluvias [3]. Los MPs detectados en la atmósfera incluyen fragmentos de espuma [13] y fibras sintéticas [46].

Cada vez se está acumulando más evidencia sobre la contaminación de MPs en la atmósfera, una vez en el aire pueden permanecer suspendidos durante varios días, incluso semanas, antes de ser eliminados por precipitación. Por lo tanto, la atmósfera representa una fuente difusa de MPs, que pueden depositarse en función de su tamaño y densidad en diferentes entornos lejanos, incluidos los océanos. En Londres una ciudad muy poblada se encontró tasas de deposición en un rango entre 575 hasta 1.008 partículas/m<sup>2</sup> por día [71], mientras que en París se reportó una tasa entre 2 hasta 355 partículas/m<sup>2</sup> al día [3]. Estos resultados demuestran que la deposición atmosférica no debe ser descuidada como una fuente de transporte potencial de MPs, debido a que el 29% de la cantidad de fibras recolectadas provienen de polímeros plásticos o semisintéticos [33].

**MPs en suelos y sedimentos:** Debido a las características físicas de algunos MPs, estos se pueden hundir en los cuerpos de agua y formar sedimentos que posteriormente se acumulan debido a su lenta degradación. Un estudio sugirió que los MPs son ubicuos y de baja concentración en sedimentos, esto en su distribución a lo largo de un río donde los resultados fueron irregulares e inesperados. Los sitios donde menos se detectaron MPs en sedimentos fue en efluentes cercanos a industrias [17]. Paralelamente, otro estudio encontró MPs en sedimentos marinos de aguas profundas de 1.100 a 5.000 m [27]. En el caso de suelos agrícolas, los MPs principalmente provienen de los fertilizantes orgánicos, compostaje, lodos residuales [65,72] y fertilizantes nitrogenados (urea) recubiertos con polímeros que sirven para reducir las pérdidas por la volatilización [73].

Una evaluación de MPs a partir de sedimentos reportó que las proporciones de poliéster y fibras acrílicas, normalmente usadas en la ropa, presentaban semejanzas a las encontradas en hábitats que reciben descargas de aguas residuales, lo cual podría explicar su origen [26]. Otro estudio también demostró que a mayor profundidad de sedimentos la concentración de MPs disminuye, esto indica que la acumulación de MP es proporcional al tiempo y de relativa modernidad [24,74]; es decir, los sedimentos representan un registro útil del pasado y presente del impacto por plástico en el mundo [24].

**MPs en la biósfera:** La absorción de partículas plásticas en humanos y animales puede tener efectos adversos a la salud causados por la toxicidad de algunas partículas, toxicidad química, presencia de patógenos y parásitos [41]. Se sabe que los peces, invertebrados de agua dulce, crustáceos, cefalópodos y animales gelatinosos y especies forrajeras se alimentan directamente de partículas que poseen el mismo rango de tamaño al que pertenecen los MPs, lo que provoca que estos organismos estén propensos a la ingesta indiscriminada de MPs [4,17]. Los cuales tras ser ingeridos causan daño interno e intoxicación por ingestión debido a los productos químicos nocivos que contienen, generando reducción de la aptitud física y un aumento de la mortalidad [16]. Las consecuencias de la acumulación de MPs en estos organismos puede generarles falsa saciedad y con esto el consumidor resulta con una adquisición de energía calórica más baja, disminución de la función eco fisiológica por el resultado de lesiones físicas, estrés fisiológico [17,23], disminución de movilidad [75]. Además, pueden sufrir de inhibición o desaceleración de la digestión, disminución en la excreción u otras funciones corporales, incluso los MPs pueden ingresar al sistema circulatorio y tejido hepático [6], generando lesiones pulmonares e intestinales. Las partículas finas de MPs también provocan estrés oxidativo, daño celular, inflamación, deterioro en la asignación de energía en el cuerpo humano [41].

Los MPs flotantes en los océanos son ingeridos por animales filtradores, que al momento de alimentarse atrapan a su presa más una porción de MPs. Ensayos de laboratorio demostraron que anfípodos (detritívoros), percebes (alimentadores de filtro) y gusanos (alimentadores de depósito) ingieren pequeños fragmentos de PVC, mientras tanto, poliuretanos, equinodermos y mejillones pueden ingerir partículas de PS [9]. Esto podría generar un impacto en la cadena trófica, además la bioacumulación y biomagnificación de MPs en organismos de presa y depredadores [67].

Se han encontrado MPs en una amplia gama de taxones como plancton, bivalvos, crustáceos, equinodermos, elasmobranchios, cetáceos [75], tortugas [76], focas [19] gaviotas [77], patos [78], pingüinos [79] y anfibios [80] entre otros animales. Inclusive los MPs no respetan ni las profundidades de los océanos, ya que un estudio a 7.000-



10.890 m de profundidad un grupo de individuos de la especie *Lysianassoidea* revelo que 70% de individuos contenía por lo menos una micropartícula ingerida [75].

**MPs en los seres humanos:** Las rutas principales de exposición humana a los MPs son la inhalación, ingestión y el contacto con la piel [81,82]. La inhalación de MPs puede provenir de la contaminación aérea por textiles, neumáticos de caucho sintético, polvo urbano, entre otros; mientras que, la ingestión de MPs se produce por el consumo de diferentes alimentos y agua potable [41,82]. Este último debido a que la mayoría de los filtros usados en el tratamiento de aguas no están diseñados para retener partículas de MPs [26].

Se reportó que partículas MPs menores a un diámetro de 130  $\mu\text{m}$  son capaces de penetrar tejidos humanos y desencadenar una respuesta al liberar monómeros, metales pesados y contaminantes orgánicos [81]. Esto genera aún más revuelo con diversas investigaciones que responden si las fibras ingeridas al ser absorbidas en el intestino liberarían monómeros como etilenglicol, tereftalato de dimetilo, acrilonitrilo, cloruro de vinilo, cloruro de vinilideno, bromuro de vinilo, colorantes dispersivos y mordientes como aluminio, cromo, cobre, potasio, estaño [26].

En la actualidad se podría estar dando una ingestión inadvertida e indiscriminada de MPs del tipo PET [3] y PE, debido a que estos polímeros son usados principalmente para la fabricación de envases desechables de bebidas y comida rápida [82]. Como lo reportó una investigación en heces humanas, en el cual estos dos polímeros en forma de MPs se encuentran en mayor concentración [84]. Lo cual puede estar relacionado debido al incremento del consumo de comida rápida en todo el mundo [83] y al aumento del uso de envases plásticos que contienen MPs los cuales son ingeridas involuntariamente junto con los alimentos [30,85].

Se demostró que los colorantes dispersivos de fibras de poliéster y acrílico causan dermatitis [13], incluso fibras de MPs adquiridas mediante inhalación podrían estar relacionadas con el cáncer de pulmón debido a que estudios identificaron fibras plásticas y de celulosa en tejidos pulmonares humanos [13,26]. Una exposición mayor de MPs puede conducir a enfermedades neurodegenerativas, trastornos inmunes y cáncer [46].

Una estimación reporta que la ingesta anual de MPs es de un intervalo que va desde 39.000 hasta 52.000 partículas por persona lo cual puede variar según la edad y el sexo, esta estimación incrementa hasta 74.000 a 121.000 cuando se considera también la inhalación de MPs. Además, se adicionan otras 4000 partículas de MPs si corresponde al consumo de agua de grifo, en tanto que si la ingesta es de agua embotellada llega hasta 90.000 partículas de MPs anuales, cabe recalcar que estos valores son estimaciones [81].

**MPs en alimentos:** Los MPs atraen la preocupación de salud pública y seguridad alimentaria cuando se sabe que es consumida por los seres humanos a través de los alimentos [82,86]. Los MPs pueden ser ingeridos por diversos organismos, incluidas las especies consumidas por el ser humano como los diversos productos del mar, ríos y lagos [13]. Aunque la presencia de MPs ha logrado llegar más lejos e integrarse en nuestros alimentos [81]. Diversos estudios de los últimos años demostraron la exposición humana y presencia de MPs en productos alimenticios como sales de mesa, sardinas enlatadas, mariscos, cervezas, peces marinos y de agua dulce, miel, azúcar, bolsitas de té, alcohol, minerales, agua potable y agua embotellada [31,39,46,81,87], leche [88], refrescos, bebidas energéticas [89], vinos blancos [90], carne de pollo [91]. Incluso en alimentos envasados como la carne, que están contenidas en bandejas de XPS y expuestas a pequeñas partículas de MPs que son atrapados en la carne, las cuales son difícil de eliminar mediante enjuague y posiblemente se terminen cocinando e ingiriendo [92]. Esto incrementa la evidencia que aún se carece de estudios para verificar si más productos alimenticios presentan contaminación con MPs.

## MICROPLASTICOS EN SUDAMÉRICA

A pesar de que la región sudamericana es la región que menor cantidad de plástico produce [93], es la tercera región después de Asia y África con aporte de plástico fluvial transportados desde los ríos, dirigidos a desembocar en el océano. Entre los países sudamericanos, Guyana tiene el mayor aporte de plástico per-cápita por día con 0,586 kg, seguido de Venezuela y Uruguay con 0,252 kg, Argentina con 0,183 kg, Brasil con 0,165 Kg, Ecuador con 0,147 Kg, Colombia y Perú con 0,144 kg, Chile con 0,119 Kg, mientras que Bolivia y Paraguay no presentan datos [8].

Durante la última década el tema de los MPs atrajo un gran interés no solo por la comunidad científica sino también por responsables políticos, medios de comunicación y población en general, debido a que varios gobiernos, universidades y centros de investigación identificaron contaminación plástica, de MPs y NPs [94]. Frente a esto la región Sudamericana no se quedó atrás y en la última década diversos grupos de investigadores de Perú, Brasil, Argentina, Chile, Uruguay, Colombia y Ecuador realizaron estudios en diferentes sistemas ambientales y/o



Tabla 3. Estudios acerca de MPs en Sudamérica en la última década

País	Ubicación	Tipo de muestra	Concentración media	Tipo/forma/color de MPs	Ref.
Brasil	Playa de Boa Viagem, Recife	Sedimentos de Arena	-	96,7% fragmentos plásticos, 3,3% plástico virgen	[35]
Brasil	Bahía de Victoria, Espírito santo	Sedimentos	0-38 partículas MPs/muestra	Fibras y plásticos	[95]
Argentina	Río Paraná	Sedimentos	131-12.687 MPs/m <sup>2</sup> con un promedio de 4.654 MP/m <sup>2</sup>	-	[96]
Uruguay	Punta del Diablo	Sedimentos de playa	Medias de 106 items/ m <sup>2</sup> y 5,87g/m <sup>2</sup>	59,4% fragmentos, 39,5% gránulos de resina, 1,1% espuma de PS	[97]
Perú	Playa Costa azul, Ventanilla	Arena	463,33 items/m <sup>2</sup> y 2,6g/m <sup>2</sup>	89% plástico duro, 7% de estireno y 2% pellets negros, 2% otros.	[98]
Perú	Playa Albufera de Medio Múndo	Arena	4,67 items/ m <sup>2</sup> y 0,50g/ m <sup>2</sup>	-	[98]
Perú	Playa Vesique	Arena	40items/ m <sup>2</sup> y 0,5g/ m <sup>2</sup>	-	[98]
Perú	Playa El Chaco	Arena	11,33 items/ m <sup>2</sup> y 0,86 g/ m <sup>2</sup>	-	[98]
Perú	Yryos-Sombrillas-Agua Dulce-Pescadores, Lima	Arena	174,1±44,8 partículas/m <sup>2</sup>	78,3% espumas, 17,38% fragmentos, 4,32% otros 84,8% blancos, 4% azul, 2,6% rojos, 2,2% verde, 2,0% amarillo y 3,2% otros colores.	[99]
Perú	Playa arenosa Venecia	Sedimentos: Arena	(1°) 56,32 partículas de MPs/2kg (2°) 29,25 partículas de MPs/2kg	(1°) 86,13% fragmentos filamentosos, 2,34% fragmentos angulares (2°) 42,46% otras formas, 35,38% formas angulares, 4,17% formas esféricas	[100]
Chile	Melipilla, Región Metropolitana	Lodos	170 partículas MPs/ 5g	90% fibras	[101]
Ecuador	Ciudad de Riobamba	Agua potable	19% de muestras con MPs	-	[102]
Brasil	San Francisco - Chartas - Jurujuba	Aguas (zona de cultivo de mejillones)	16,4 partículas/ m <sup>3</sup>	60% azul, 14% verde, 11% rojo, 5% amarillo, 3% naranja y 7% otros colores	[103]
Brasil	Bahía Guanabara	Aguas	1,40 a 21,3 partículas / m <sup>3</sup>	81,7% de PE, 16,20% de PP, 2,1% polímero plástico no identificado	[104]
Argentina	Estuario del Río de la Plata	Aguas	139 MPs/m <sup>3</sup>	34% azul, 14,8% negro, 14,2% rojo, 8,9% transparente, 7,4% verde, 7,1% azul claro, 5,4% blanco, 3,5% gris, 2,4% rosa, 1% amarillo, <1% otros.	[105]
Argentina	Lagos de la Patagonia	Aguas	0,9±0,6 MPs/m <sup>3</sup>	38,3% PET, 11,8% PE, 2,9% PP, 2,9% PS, 44,1% otros	[106]
Argentina	Lago La Salada, Pampeana	Aguas	143,3±40,4 MPs/m <sup>3</sup>	44,2% negros, 11,6% azul, 14% amarillo, 11,6% rojo, 18,6% blanco	[107]
Argentina	Estuario de la Bahía Blanca	<i>Micropogonias furnieri</i>	12,1±6,2 partículas/individuo	60,8% de fibras, 28,9% gránulos, 8,6% fragmentos, 1,4% láminas	[6]
Argentina	Río Paraná	<i>Prochilodus lineatus</i>	100% de individuos contaminados en el TGI	-	[96]
Brasil	Río Pajeú	<i>Hoplosternum littorale</i>	83% individuos contaminados con MPs, 3,6 partículas/individuo	46,6% de fibras, 3,6% plásticos blandos, 17,4% plásticos duros	[108]
Chile	Bahía Nassau, Cabo de Hornos	<i>Lithodes santolla</i>	27% de cangrejos contaminados con MPs	-	[16]
Chile	Océano pacífico, Biobío	<i>Trachurus murphyi</i>	10% de individuos contaminados con MPs en TGI	25% PE, 75% PET	[109]
Chile	Océano pacífico, Biobío	<i>Srangomena bantnicki</i>	30% de individuos contaminados con MPs en TGI	25% PE, 75% PET	[109]
Chile	Océano pacífico, Biobío	<i>Merluccius gayi</i>	10% de individuos contaminados con MPs en TGI	25% PE, 75% PET	[109]
Chile	Desembocadura Río Biobío	<i>Eleginops maclovinus</i>	30% de individuos contaminados con MPs en TGI	20%PS, 80%PET	[109]
Chile	Desembocadura Río Biobío	<i>Aplocheilichthys punctatus</i>	20% de individuos contaminados con MPs en TGI	20%PS, 80%PET	[109]
Chile	Desembocadura Río Biobío	<i>Basilichthys australis</i>	70% de individuos contaminados con MPs en TGI	20%PS, 80%PET	[109]
Colombia	Río Magdalena	<i>Mugil incilis</i>	21,7% de individuos contaminados con MPs en TGI	-	[110]
Colombia	Río Magdalena	<i>Eugerres pinnieri</i>	5,0% de individuos contaminados con MP en TGI	-	[110]
Colombia	Río Magdalena	<i>Caquetaia kraussii</i>	8,6% de individuos contaminados con MPs en TGI	-	[110]
Colombia	Río Magdalena	<i>Hipopotamus carvax</i>	10,5% de individuos contaminados con MPs en TGI	-	[110]
Perú	Costa de Lima	<i>Odonesthes regia</i>	0,43±0,11MPs/individuo	88,24% fibra, 5,88% fragmento, 5,88% película	[111]
Perú	Costa de Lima	<i>Cheilodactylus variegatus</i>	5,13±0,81 MPs/ individuo	95,12% fibra; 4m88% fragmento	[111]
Perú	Costa de Lima	<i>Anisotremus scapularis</i>	5,00±0,46 MPs/individuo	75,0% fibra, 25,0% fragmento	[111]
Perú	Lima	<i>Choromytilus chorus</i>	1,91±0,11 items/g	90,48% fibras, 7,48 % pellets y 2,04% otros	[112]
Perú	Lima	<i>Ailacomya atra</i>	1,64±0,08 items/g	92,68% fibras, 6,08 pellets y 1,27% otros	[112]
Perú	Mercados pesqueros, Lima	<i>Argopecten purpuratus</i>	2,25±0,54 MPs/individuo	-	[113]
Uruguay	La Pedrera, Rocha	<i>Minius edulis</i>	1,09 fibras/g y 0,99 fragmentos/g	52,4 % de fibras y 47,6% de fragmento	[114]
Uruguay	Punta Colorada, Maldonado	<i>Minius edulis</i>	1,05 fibras/g y 0,94 fragmentos/g	51,8% de fibra y 48,2% de fragmentos	[114]
Brasil	Estuario de Goiãna	Plancton	-	41,08% plásticos blandos, 29,11% virutas de pintura, 28,42% plásticos duros, 1,4% de hilos	[115]

(1°) = microplásticos primarios; (2°) = microplásticos secundarios, TGI= Tracto Gastrointestinal.

en diferentes especies animales, los cuales se detallan en la tabla 3. Mientras tanto, que países como Bolivia, Venezuela, Paraguay, Guyana, Surinam y Guyana Francesa hasta la actualidad no presentan ningún estudio acerca de



la contaminación por MPs. Analizando la tabla 3 se puede evidenciar la discrepancia en el reporte de resultados y el tipo de metodología utilizada en los diferentes estudios, como región se debería llegar a un acuerdo entre todos los investigadores latinoamericanos para definir las unidades y las metodologías a usar, para así poder aumentar la probabilidad de reproducibilidad y eficacia de los futuros estudios.

La tabla 3, se diseñó mediante la búsqueda en plataformas de base de datos de Scopus y Google Scholar, con parámetros de búsqueda entre los años 2010-2020.

## REFERENCIAS

1. Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. **2017**, Production, use, and fate of all plastic ever made, *Science Advances*, 3(7), e1700782.
2. Baekeland, L.H. **1909**, The synthesis, constitution, and uses of bakelite, *Ind. Eng. Chem.* 1(3), 149-161.
3. Vázquez-Rodríguez, G. **2019**, Los Microplásticos textiles (o la increíble historia de cómo tu suéter termina en el salero), *Ciencia*, 70(1), 56-63.
4. Choy, C.A., Robison, B.H., Gagne, T.O., Erwin, B., Firl, E., Halden R.U., Hamilton J.A., Katija, K., Lysin, S.E., Rolsky, C., Van Houtan, K.S. **2019**, The vertical distribution and biological transport of marine microplastic across the epipelagic and mesopelagic water column, *Scientific Reports*, 9, 7843.
5. Bellis, M., **2020**, A brief history of the invention of plastics, <https://www.thoughtco.com/history-of-plastics-1992322>, Access date: 25/May,2020
6. Arias, A.H., Ronda, A.C., Oliva, A.L., Marcovecchio, J.E. **2019**, Evidence of microplastic ingestion by fish the bahía blanca estuary in Argentina, South America, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102, 750-756.
7. Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., Guo, X. **2020**, Aging mechanism of microplastic with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals, *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122515.
8. Ritchie, H. & Roser, M. **2018**, Plastic Pollution, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>, Access Date: 04/Jun/2020.
9. Browne, M.A., Galloway, T., Thompson, R. **2007**, Microplastic – An emerging contaminant of potential concern?, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4), 559-566.
10. Nkwachukwu. O.I., Chima, C.H., Ikenna, A.O., Albert, L. **2013** Focus on potential environmental issues on plastic world towards a sustainable plastic recycling in developing countries. *Int. Ind. Chem.* 4, 34.
11. Karamanlioglu, M., Preziosi, R., Robson, G.D. **2017**, Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly(lactic acid): A review, *Polymer Degradation and Stability*, 137, 122-130.
12. Gibbens, S. **2018**, What you need to know about plant-based plastics <https://www.nationalgeographic.com/contributors/g/sarah-gibbens/> Access date 18/Jun/2020.
13. Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., Sillanpää, M. **2020**, Atmospheric microplastic: A review on current status and perspectives, *Earth-Science Reviews*, 203, 103118.
14. McCormick, A., Hoellein, T.J., Mason, S.A., Schlupe, J., Kelly, J.J. **2014**, Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river, *Environmental Science & Technology*, 48(20), 11863-11871.
15. Ory, N., Changnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J.L., Gallardo, C., Garcés-Ordoñez, O., Henostroza, A., Laaz, E., Mizraji, R., Mojica, H., Murillo-Haro, V., Ossa-Medina, L., Preciado, M., Sobral, P., Urbina, M.A., Thiel, M. **2018**, Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the Pacific Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211-216.
16. Andrade, C., Ovando, F. **2017**, First record of microplastic in stomach content of the southern king crab *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae), nassau bay, cape horn, Chile, *Anales Instituto Patagonia*, 45(3), 59-65.
17. Castañeda, R.A., Avlijas, S., Simard, M.A., Ricciardi, A. **2014**, Microplastic pollution in St. Lawrence river sediments, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71(12), 1767-1771.
18. Karlsson, T.M., Vethaak, A.D., Almroth, B.C., Ariese, F., van Velzen, M., Hasselöv, M., Leslie, H.A. **2017**, Screening for microplastic in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation, *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 403-408.
19. Sarria-Villa, R.A., Gallo-Corredor, J.A. **2016**, La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos, *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27.
20. Yu, Q., Hu, X., Yang, B., Zhang, G., Wang, J., Ling, W. **2020**, Distribution, abundance and risks of microplastic in the environment, *Chemosphere*, 249, 126059.
21. Chai, B., Li, X., Liu, H., Lu, G., Dang, Z., Yin, H. **2020**, Bacterial communities on soil microplastic at guiyu, an E-Waste dismantling zone of China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195, 110521.
22. Colón-Ortiz, A.J., & Febles-Moreno, K. **2018**, Description of microplastic on the coast of La Guancha in Ponce, Puerto Rico, *ECORFAN-Bolivia Journal*, 5(8), 24-32.
23. Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J., Boldgiv, B. **2014**, High – Levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake, *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156-163.



24. Willis, K.A., Eriksen, R., Wilcox, C., Hardesty, B.D. **2017**, Microplastic distribution at different sediment depths in an urban estuary, *Front. Mar. Sci.*, 4, 419
25. Agarwal, S. **2020**, Biodegradable polymers: Present opportunities and challenges in providing a microplastic – free environment, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 221(6), 2000017.
26. Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. and Thompson, R. **2011**, Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Source and sinks, *Environ. Sci. Technol.* 45(21), 9175-9179.
27. Cauwenbergh, L.V., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R. **2013**, Microplastic pollution in deep-sea sediments, *Environmental Pollution*, 182, 495-499.
28. García, S. **2009**, Referencias históricas y evolución de los plásticos, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10(1), 71-80.
29. Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F., Ragas, A. **2017**, Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastic in the environment, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265.
30. Albalat-Oliver, B. **2020**, Ahogados en plástico: La contaminación por microplásticos en el medio marino, *MÉTODE*, 1, 11-18.
31. Farade, O.O., Wan, B., Guo, L.G., Zhao, L. **2020**, Microplastic from consumer plastic food containers: Are we consuming it?, *Chemosphere*, 253, 126787.
32. Chung, B.Y., Choi, S.M., Roh, T.H., Lim, D.S., Ahn, M.Y., Kim, Y.J., Kim, H.S., Lee, B.M. **2019**, Risk assessment of phthalates in pharmaceuticals, *Journal of Toxicology Environmental Health, Part A*, 82(5), 351-360.
33. Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande-Bret, C., Tassin, B. **2016**, Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastic in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104, 290-293
34. Cunha, C., Silva, L., Paulo, J., Faria, M., Nogueira, N., Cordeiro, N. **2020**, Microalgal-based biopolymer for nano – and microplastic removal: a posible biosolution for wastewater treatment, *Environmental Pollution*, 263, 114385.
35. Costa, M.F., Ivar do Sul, J.A., Silva-Cavalcanti, S.S., Araújo, M.C.B., Spengler, Â., Tourinho, P.S. **2010**, On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach, *Environ. Monit. Assess.*, 168, 299-304.
36. Rendón, W.J. **2009**, El Producto de la reacción de Stenhausen como colorante para el reconocimiento de la poliamida, *Rev. Bol. Quím.*, 26(1), 27-29.
37. Sobhani, Z., Lei, Y., Tang, Y., Wu, L., Zhang, X., Naidu, R., Megharaj, M., Fang, C. **2020**, Microplastic generated when opening plastic packaging, *Scientific Reports*, 10, 4841.
38. Stanton, T., Johnson, M., Nathanail, P., MacNaughtan, W., Gomes, R.L. **2020**, Freshwater microplastic concentrations vary through both space and time, *Environmental Pollution*, 263, 114481.
39. Wang, Y.L., Lee, Y.H., Chiu, I.J., Lin, Y.F., Chiu, H.W. **2020**, Potent impact of plastic nanomaterials and micromaterials on the food chain and human health, *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5), 1727.
40. Rochman, C.M., Manzano, C., Hentschel, B.T., Simonich, S.L., Hoh, E. **2013**, Polystyrene plastic: A source and sink polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment, *Environ. Sci. Technol.* 47(24), 13976-13984.
41. Vethaak, A.D., Leslie, H.A. **2016**, Plastic debris is a human health issues, *Environ. Sci. Technol.*, 50(13), 6825-6826.
42. Zou, J., Liu, X., Zhang, D., Yuan, X. **2020**, Adsorption of three bivalent metals by four chemical distinct microplastics, *Chemosphere*, 248, 126064.
43. Abboudi, M., Aljoumaa, K., Odeh, A., Alkaid, A., Koudsi, Y. **2017**, Monitoring phthalates leaching into polyethylene terephthalate sterilized bottled water by ionizing radiation, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 818-826.
44. Groh, K.J., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P.A., Lennquist, A., Leslie, H.A., Maffini, M., Slugle, D., Trasande, L., Warhurst, A.M., Muncke, J. **2019**, Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards, *Sci. Total Environ.* 651, 3253-3268.
45. Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V.F. **2020**, A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(4), 1212.
46. Zhao, Y.B., Gao, P.P., Ni, H.G. **2020**, A chemical time bomb: Future risks of microplastics, *Water Air Soil Pollut*, 230, 268.
47. Kik, K., Bukowska, B., Sicińska, P. **2020**, Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation and toxicity to various organism, *Environmental Pollution*, 262, 114297.
48. Newhook, R., Meek, M.E., Savard, S., Caldwell, I., Dormer, W. **2008**, Styrene: Evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada, *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 12(2), 453-471.
49. Huff, J., Infante, P.F. **2011**, Styrene exposure and risk of cancer, *Mutagenesis*, 26(5), 583-584.
50. Bach, C., Dauchy, X., Chagnon, M. C., & Etienne, S. **2012**, Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed, *Water Reseach*, 46(3), 571-583.
51. Ball, G., McLellan, C., & Bhat, V. **2012**, Toxicologic review and oral risk assessment of terephthalic acid (TPA) and its esters: A category approach, *Critical Reviews in Toxicology*, 42(1), 28-67.
52. <https://www.insst.es/documents/94886/289981/DLEP+105.pdf/8b1ac9ad-eb47-40b8-851d-a1c062de654f> Access date: 05/May/2020
53. Xiao, L., Wang, B., Yang, G., & Gauthier, M. **2012**, Poly (Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications, *Biomedical Science*, 11, 247-282.



54. Werner, L. P., Legeais, J. M., Durand, J., Savoldelli, M., Legeay, G., & Renard, G. **1997**, Endothelial damage caused by uncoated and fluorocarbon-coated poly(methyl methacrylate) intraocular lenses, *J. Cataract. Refract. Surg.*, 23(7), 1013-1019.
55. Harris, J. C., Rumack, B. H., & Aldrich, F. D. **1981**, Toxicology of Urea Formaldehyde and Polyurethane Foam Insulation, *The Journal of the American Medical Association*, 245(3), 243-246.
56. Levin, B. C., Paabo, M., & Bailey, C. S. **1987**, Toxicity of the combustion products from a flexible polyurethane foam and a polyester fabric evaluated separately and together by the NSB toxicity test method, *Center for Fire Research*, 11(1), 1111-1122.
57. Hwang, J., Choi, D., Han, S., Choi, J., Hong, J. **2019**, na assessment of the toxicity of polypropylene microplastic in human derived cells, *Sci. Total Environ.* 684, 657-669.
58. Thomas, P. **2005**, Le téflon: un nouveau scandale sanitaire?, *L'Écologiste*, 16, 54-55.
59. Casaburi, M., Flamini, N., Lettieri, J., Therisod, M., Stambullian, M. **2019**, Revisión bibliográfica sobre la migración de metales y otros elementos desde utensilios de cocina hacia los alimentos, *Revista Nutrición Investiga*, 4(1), 1-58.
60. Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodríguez -Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G. **2014**, Microplastics in freshwater ecosystems: What we know what we need to know, *Environmental Sciences Europe*, 26, 12.
61. Lusher, A.L., Tirelli, V., O'Connor, I., Offier, R., **2015**, Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples, *Scientific Reports*, 5, 14947.
62. Ambrosini, R., Azzoni, R.S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., Parolini, M. **2019**, First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier, *Environmental Pollution*, 253, 297-301.
63. Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitum, A., Baker, I., Thompson, R.C. **2014**, Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice, *Earth's Future*, 2, 315-320.
64. Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdt, G., **2017**, Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-trnsform infrared imaging, *Water Research*, 108, 365-372.
65. Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., Geissen, V. **2020**, Sewage sludge applications as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils, *Environmental Pollution*, 261, 114198.
66. Van-Wezel, A., Caris, I., Kools, S.A.E. **2015**, Release of primary microplastics from consumer products to wastewater in the Netherlands, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(7), 1627-1631.
67. Rochman, C.M., Parnis, J.M., Browne, M.A., Serrato, S., Reiner, E.J., Robson, M., Young, T., Diamond, M.L., Teh, S.J. **2017**, Direct and indirect effects of different types of microplastics on freshwater prey (*Corbicula fluminea*) and their predator (*Acipenser transmontanus*), *PLoS ONE*, 12(11), e0187664.
68. Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. **2013**, Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes, *Marine Pollution Bulletin*, 77, 177-182.
69. Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E. **2004**, Lost at sea: Where is all the plastic?, *Science*, 304(5672), 838.
70. Van-Tiel, M., Teuling, A.J., Wanders, N., Vis, M.J.P., Stahl, K., Van-Loon, A.F. **2018**, The role of glacier changes and threshold definition in the characterization of future streamflow droughts in glacierised catchment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 463-485.
71. Wright, S.L., Ulke, J., Font, A., Chan, K.L.A., Kelly, F.J. **2020**, Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport, *Environment International*, 136, 105411.
72. Weithmann, N., Möller, J.N., Löder, M.G.J., Piehl, S., Laforsch, C., Freitag, R. **2018**, Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment, *Science Advance*, 4(4), eaap8060.
73. Mello, T.F., Buzetti, S., Teixeira-Filho, M.C.M., Galindo, F.S., Nogueira, L.M. **2017**, Residual effects of nitrogen fertilizer with polymer-coated urea in a corn crop, *Rev. Caatinga*, 30(3), 586-594.
74. Zheng, Y., Li, J., Cao, W., Jiang, F., Zhao, C., Ding, H., Wang, M., Gao, F., Sun, C. **2020**, Vertical distribution of microplastic in bay sediment reflecting effects of sedimentation dynamics and anthropogenic activities, *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110885.
75. Jamieson, A.J., Brooks, L.S.R., Reid, W.D.K., Piertney, S.B., Narayanaswamy, B.E., Linley, T.D. **2019**, Microplastics and synthetic particles ingested by Deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth, *R.Soc.Open. Sci.* 6. 180667.
76. Schuyler, Q., Hardesty, B.D., Wilcox, C., Townsend, K. **2014**, Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles, *Conserv. Biol.*, 28(1), 129-139.
77. Thaysen, C., Sorais, M., Verreault, J., Diamond, M.L., Rochman, C.M. **2020**, Bidirectional transfer of halogenated flame retardants between the gastrointestinal tract and ingested plastics in urban-adapted ring-billed gulls, *Science of the Total Environment*, 730, 138887.
78. Reynolds, C., Ryan, P.G. **2018** Micro-plastic ingestion by waterbirds from contaminated wetlands in South Africa, *Marine Pollution Bulletin*, 126, 330-333.
79. Bessa, F., Ratcliffe, N., Otero, V., Sobral, P., Marques, J.C., Waluda, C.M., Trathan, P.N., Xavier, J.C., **2019**, Microplastics in gentoo penguins from the Antarctic region, *Scientific Reports*, 9, 14191.
80. Boyero, L., López-Rojo, N., Bosch, J., Alonso, A., Correa-Araneda, F., Pérez, J. **2020**, Microplastics impair amphibian survival, body condition and function, *Chemosphere*, 244, 125500.



81. Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F., Dudas, S.E. **2019**, Human consumption of microplastics, *Environmental Science & Technology*, *53*, 7068-7074.
82. De-la-Torre, G.E. **2020**, Microplastics: An emerging threat to food security and human health, *J. Food Sci. Technol.* *57*(5), 1601-1608.
83. Gallego-Schmid, A., Mendoza, J.M.F., Azapagic, A., **2019**, Environmental impacts of takeaway food containers. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 417-427.
84. Schwabl, P., Köppel S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T., Liebmann, B. **2019**, Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series, *Ann. Intern. Med.*, *171*, 453-457.
85. Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., Shi, H., **2020**, Microplastics in take-out food containers, *Journal of Hazardous Materials*, *399*, 122969.
86. Shen, M., Song, B., Zhu, Y., Zeng, G., Zhang, Y., Yang, Y., Wen, X., Chen, M., Yi, H. **2020**, Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions, *Chemosphere*, *251*, 126612.
87. Zhang, Q., Zhao, Y., Li, J., Shi, H. **2020**, Microplastic in food: Health risks, *The Handbook of Environmental Chemistry*, doi:10.1007/698\_2020\_453
88. Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde – Martínez, I., Shruti, V.C. **2020**, Branded milks – Are they immune from microplastics contamination?, *Science of the Total Environment*, *714*, 136823.
89. Shruti, V.C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Kutralam-Muniasamy, G. **2020**, First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks – Future research and environmental considerations, *Science of The Total Environment*, *726*, 138580.
90. Prata, J.C., Paço, A., Reis, V., da-Costa, J.P., Silva-Fernandes, A.J., da-Costa, F.M., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T. **2020**, Identification of microplastic in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy, *Food Chemistry*, *331*, 127323.
91. Huang, Y., Chapman, J., Deng, Y., and Cozzolino, D. **2020**, Rapid measurement of microplastic contamination in chicken meat by mid infrared spectroscopy and chemometrics: A feasibility study, *Food Control*, *113*, 107187.
92. Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Maguer, G.L., Tilly, V.L., Bruzard, S. **2020**, Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks, *Food Packaging and Shelf Life*, *24*, 100489.
93. Gourmelon, G. **2015**, Global plastic production rises, recycling lags, *New worldwatch institute analysis explores trends in global plastic consumption and recycling*. 1-7.
94. Bank, M.S., Hansson, S.V. **2019**, The plastic cycle: A novel and holistic paradigm for the anthropocene, *Environ. Sci. Technol.* *53*(13), 7177-7179.
95. Baptista-Neto, J.A., Gaylarde, C., Beech, I., Cardozo-Bastos, A., da Silva-Quaresma, V., Gomes de Carvalho, D. **2020**, Microplastic and attached microorganisms in sediments of the Vitória bay estuário system in SE Brazil. *Ocean and Coastal Management*, *169*, 247-253.
96. Bletter, M.C.M., Garello, N., Ginon, L., Abrial, E., Espinola, L.A., Wantzen, K.M., **2019**, Massive plastic pollution in a megariver of a developing country: Sediment Deposition and ingestion by fish (*Prochilodus lineatus*), *Environ. Pollut.* *255*(3), 113348.
97. Rodríguez, C., Fossatti, M., Carrizo, D., Sánchez-García, L., Teixeira-de-Mello, F.W., Lozoya, J.P. **2020**, Mesoplastic and large microplastics along a use gradient on the Uruguay Atlantic coast: Types, sources, fates, and chemical loads, *Science the Total Environment*, *721*, 137734.
98. Purca, S., Hemostroza, **2017**, Microplastic in four Sandy from Peruvian coast, *Revista Peruana de Biología* *24*(1), 101-106.
99. De-la-Torre, G.E., Dioses-Salinas, D.C., Castro, J.M., Antay, R., Fernández, N.Y., Espinoza-Morriberón, D., Saldaña-Serrano, M., **2020**, Abundance and distribution of microplastic on Sandy beaches of Lima, Peru, *Marine, Pollution, Bulletin*, *151*, 110877
100. Iannacone, J., Huyhua, A., Alvariano, L., Valencia, F., Principe, F., Minaya, D., Ortega, J., Argota, G., Castañeda, L. **2019**, Microplastics in the high and supralittoral area of a sand beach of the coastal coast of Peru. *The Biologist (Lima)*, *17*(2), 335-346.
101. Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., Geissen, V. **2019**, Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils sewage sludge disposal, *Science of the Total Environment*, *671*, 411-420.
102. Paredes, M., Castillo, T., Viteri, R., Fuentes, G., Bodero, E. **2019**, Microplastic in the drinking water of the Riobamba city, Ecuador, *Sci. Ver. Eng. Env. Sci.* *28*(49), 653-663.
103. Oliveira Castro, R., L. Silva, M., C. Marquez, M. R., & V de Araujo, F. **2016**, Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove, Niterói, RJ, Brazil, an area of mussels farming. *Marine Pollution Bulletin*, *110*(1), 555-558.
104. Olivatto, G. P., T. Martins, M. C., Montagner, C., Henry, T., & Carreira, R. **2019**, Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, *139*, 157-162.
105. Pazos, R.S., Bauer, D.E., Gómez, N. **2018**, Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America), *Environmental Pollution*, *243*, 134-142.
106. Alfonzo, M.B., Scordo, F., Seitz, C., Mavo- Manstretta, G.M., Ronda, A.C., Arias, A.H., Tomba, J.P., Silva, L.I., Eduardo-Perillo, G.M., Piccolo, M.C. **2020**, First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America), *Science of the Total Environment*, *733*, 139385.



107. Alfonzo, M.B., Arias A.H., Piccolo, **2020**, Microplastic integrating the zooplanktonic fraction in a saline lake of Argentina: Influence of water management, *Environ. Monit. Assess.* 192(2), 117.
108. Silva-Cavalcanti, J.S., B. Silva, J. D., de Franca, E. J., Barbosa de Araújo, M. C., & Gusmao, F. **2017**, Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource, *Environmental Pollution*, 221, 218-226.
109. Pozo, K., Gomez, V., Torres, M., Vera, L., Nuñez, D., Oyarzún, P., Mendoza, G., Clarke, B., Fossi, M.C., Bains, M., Příbylová, P., Klánová, **2019**, Presence and characterization of microplastics in fish of commercial importance from the Biobío region in central Chile, *Marine Pollution Bulletin*, 140, 315-319.
110. Calderon, E., Hansen, P., Rodríguez, A., Blettler, M., Syberg, K., & Khan, F. **2019**, Microplastics in the digestive tracts of four fish species from the Ciénaga Grande de Santa Marta Estuary in Colombia, *Water Air Soil Pollut*, 230(11), 230-257.
111. De-la-Torre, G.E., Dioses-Salinas, D.C., Pérez-Baca, B.L., Santillán, L. **2019**, Microplastic abundance in three commercial fish from the coast of Lima, Peru, *Braz. J. Nat. Sci.*, 2(3), 171-177.
112. Valencia-Velasco, F., Guabloche-Zuñiga, A., Alvaríño, L., Iannaccone, J. **2020**, Estandarización de un protocolo para evaluar microplásticos en bivalvos marinos en el departamento de Lima, Perú, *The Biologist*, 18(1), 119-134.
113. De-la-Torre, G.E., Mendoza-Castilla, L., Laura, R.P., **2019**, Microplastic contamination in market bivalve *Argopecten purpuratus* from Lima, Peru, *Manglar*, 16(2), 85-89.
114. Rodríguez-Perera, G. R. **2019**, Detección de microplásticos en mejillón (*Mytilus edulis*) de la costa atlántica uruguaya, Tesis de grado Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay.
115. Lima, A., Costa, M., & Barletta, M. **2014**, Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environmental Research*, 132, 146-155.