

# **Efectos de microplásticos y nanoplásticos en los seres vivos: Una revisión**



**Xenia I. Cervantes Lugo**

**Sofía Tarango Aja**

**Valeria Sabbatini Gutiérrez**

**Luis M. Guevara-Chumacero**

***Departamento de Biología.***

***Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I)***

**Resumen:**

Los microplásticos (MP) y nanoplásticos (NP) son productos químicos derivados del plástico con tamaños de 1  $\mu\text{m}$  - 5 mm y 1 nm - 1  $\mu\text{m}$ , respectivamente, que han sido encontrados en todas las matrices ambientales y que tienen un gran potencial de contaminación. La presente revisión describe los principales impactos de la presencia de MP y NP en los seres vivos. Las fuentes más importantes de generación de estos polímeros se encuentran en artículos de uso y cuidado personal (e.g. cosméticos, botellas de plástico). Mientras que las principales afectaciones en los seres vivos se han registrado a nivel digestivo, reproductivo e inmunológico. Documentamos que el 87% de los artículos científicos sobre el tema se publicaron entre 2019-2023, principalmente por autores de China, USA e Italia. Se sugiere continuar trabajando en técnicas para su detección y en el planteamiento de metodologías sólidas para analizar profundamente sus efectos.

**Palabras clave:**

Contaminación, microplásticos, nanoplásticos, seres vivos.

**Abstract:**

Microplastics (MP) and nanoplastics (NP) are plastic-derived chemicals with sizes of 1  $\mu\text{m}$  - 5 mm and 1 nm - 1  $\mu\text{m}$ , respectively, which have been found in all environmental matrices and have great potential for contamination. This review describes the main impacts of the presence of MP and NP in living beings. The most important sources of generation of these polymers are found in items for personal use and care (e.g. cosmetics, plastic bottles). While the main affectations in living beings have been registered at the digestive, reproductive and immunological levels. We docu-

mented that 87% of the scientific articles on the subject were published between 2019-2023, mainly by authors from China, USA and Italy. It is suggested to continue working on techniques for its detection and on the proposal of solid methodologies to deeply analyze its effects.

**Keywords:**

Pollution, microplastics, nanoplastics, living beings.

**Introducción**

En los últimos siglos, la búsqueda de crear un material duradero y barato que pudiera reemplazar a otros un poco menos resistentes tales como el papel o la tela, dio como resultado la conformación de materiales plásticos, que tienen la característica de ser duraderos, resistentes a la degradación, aislantes de calor y electricidad, maleables, de bajo costo, etc. (Sangkham et al., 2022).

Se podrían situar los albores de la era del plástico en la Segunda Guerra Mundial, cuando el organismo responsable de abastecer al ejército estadounidense defendió la sustitución del aluminio, latón y otros metales estratégicos por el plástico. Para la década de 1950 ya se fabricaban 1.7 millones de toneladas de plásticos, y para el año 2017 se alcanzó una producción de 348 millones de toneladas. En la actualidad, aproximadamente 400 millones de toneladas de plásticos son producidos cada año, cifra que se estima se duplique e incluso triplique para el año 2050. Solo en Europa, la demanda de materiales plásticos alcanzó 51.2 millones de toneladas para 2018. Recientemente, la pandemia de COVID-19 aumentó las cantidades de desechos plásticos, resultado del incremento en el uso de cubrebocas, guantes, jeringas,

tubos de respiración, entre otros insumos médicos y personales (Lim, 2021).

Sin embargo, en términos generales, los problemas de falta de reciclaje, reutilización, e incluso, la falta de sistemas de tratamiento de residuos ha dado como resultado que los desechos plásticos suelen terminar en la naturaleza, en donde, expuestos a cambios físicos tales como radiación ultravioleta, salinidad, pH, bacterias, microalgas, etc., acaban degradándose en microplásticos (MP) y nanoplásticos (NP), que pueden ser transportados por agua y aire, contaminando así entornos remotos tales como regiones alpinas, polos y profundidades marinas.

Los MP y NP son partículas sólidas sintéticas de formas variables, que provienen de polímeros tales como polietileno, polipropileno, poliestireno, tereftalato de polietilenglicol y cloruro de polivinilo, además de aditivos tales como retardantes de flama, estabilizadores, colorantes, aromatizantes, lubricantes, entre otras sustancias que mejoran sus propiedades (Rochman et al., 2019).

### Micro y Nanoplásticos

La palabra plástico viene del verbo griego *plassein*, que significa “moldear o dar forma”. A pesar que hay miles de plásticos, todos tienen algo en común, provienen de la unión de polímeros, es decir, sustancias compuestas de largas cadenas de miles de unidades atómicas denominadas monómeros (moléculas de pequeña masa molecular), que unidas entre sí forman moléculas gigantes y le confieren características particulares como fortaleza, elasticidad, resistencia, entre otras.

Es relevante comprender que el término “microplásticos” y “nanoplásticos” se utiliza para describir una amplia variedad de productos químicos derivados del plástico que tienen múltiples formas, tamaños y colores debido a la diversidad de polímeros y aditivos utilizados en su fabricación (Figura 1). Conocer la diversidad de sus orígenes, formas, colores y tamaños es fundamental para poder reconocerlos y realizar estudios que determinen dónde se concentran los diferentes tipos de polímeros y determinar cuál es su impacto en el ecosistema.



Figura 1. Los plásticos suelen fragmentarse en microplásticos y nanoplásticos.

**Microplásticos.** Los MP, que rondan en un rango de tamaño de 1  $\mu\text{m}$  a 5 mm, pueden presentarse en diversas formas, como fragmentos, gránulos, nudos, microesferas, perlas esféricas o irregulares, espuma, fibras y películas, y pueden tener múltiples colores o ser transparentes (Sangkham et al., 2022).

Existen diferentes factores y formas en las que los MP pueden formarse. Algunos de ellos son: factores bióticos como el clima, la radiación ultravioleta o la descomposición por bacterias o microalgas, factores mecánicos como el desecho de

materiales y la fragmentación por fuerza, o factores químicos como la hidrólisis.

De acuerdo a su origen, se clasifican en 2 tipos:

- **Primarios.** Aquellos generados con un propósito comercial, como artículos de cuidado personal (pasta dental, exfoliantes, cosméticos, etc.), telas sintéticas, productos de limpieza, envases, medicinas, entre otros.
- **Secundarios:** Resultantes de la fragmentación de objetos de plástico más grandes debido a procesos biológicos, físicos o químicos. Pueden ser liberados por el uso de paquetes de plástico, botellas de plástico y películas plásticas agrícola; pero también se generan, por ejemplo, a partir de microfibras desprendidas de la ropa sintética al lavarla o por la abrasión de llantas (Vaccari et al., 2022).

Los MP secundarios son los más peligrosos y numerosos en el ambiente, debido a su resistencia y dificultad para degradarse.

**Nanoplásticos.** Tienen un rango de tamaño de 1 nm a 1  $\mu\text{m}$  y comparten el mismo origen que los MP, pero generan una mayor preocupación debido a su tamaño, ya que estos pueden adherirse o formar parte de células animales y vegetales a través de la ingestión, respiración, absorción y otros mecanismos metabólicos de los seres vivos. Aunque todavía faltan metodologías armonizadas y confiables para analizar a los NP en entornos, el riesgo que puede presentar su exposición prolongada se comienza a conocer (Sangkham et al., 2022).

### Efectos en los seres vivos

Los plásticos han sido de gran utilidad para el ser humano, pero su uso excesivo y el mal manejo de los desechos ha generado, a su vez, un gran impacto negativo no solo en los ecosistemas, fauna y flora de nuestro planeta, sino que está llegando a afectar también a los seres humanos (Figura 2). De acuerdo a un informe del Convenio sobre la Diversidad Biológica, se indicó que más de 800 especies animales están siendo contaminadas con plástico mediante ingestión.

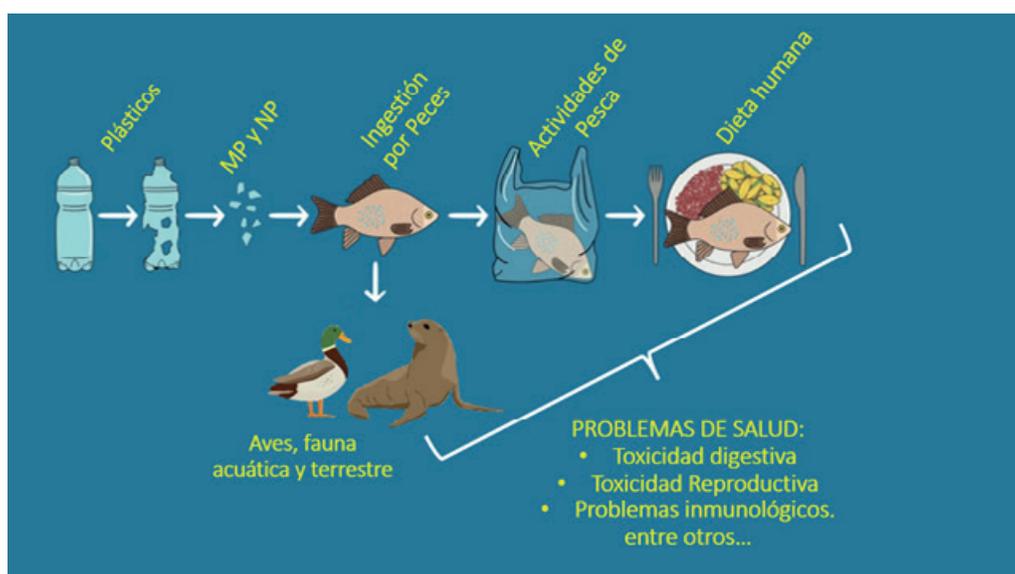


Figura 2. Resumen del origen, rutas y efectos de los microplásticos y nanoplásticos.

**Vida acuática.** Existen estimaciones de que aproximadamente 1.15-2.41 toneladas métricas de desechos plásticos terminan en el océano cada año a través de ríos, aguas subterráneas, aguas residuales, lluvias, desechos industriales, desechos humanos (agricultura y ganado), entre otros.

Cuando los plásticos terminan en el mar y empiezan a desintegrarse hasta llegar a ser MP y NP, resulta fácil que se incorporen a las cadenas tróficas. Primeramente, son ingeridos por el plancton (conjunto de organismos, ya sea animales o vegetales, que habitan en la columna de agua y que poseen una capacidad limitada para desplazarse), que comúnmente es ingerido por larvas de peces, moluscos y crustáceos que pasarán a los estados adultos de numerosas especies marinas. Se ha documentado que mecanismos similares afectan los ambientes de agua dulce y estuarios (Aldana et al., 2022).

Recientemente, se documentó que 2,144 especies marinas sufren contaminación con plásticos en su medio ambiente. De ellas, la ingestión de plástico se informó principalmente en crustáceos (119 especies), moluscos (95 especies), animales con forma de gusano (41 especies) y equinodermos (34 especies) (Tekman et al., 2022).

El pequeño tamaño de los MP y NP (particularmente por debajo de 100 nm) mejora la ingestión y absorción por parte de los organismos acuáticos, como lo demuestra su acumulación en varios órganos, como branquias, cerebro, corazón, hígado, saco vitelino, gónadas y órganos digestivos (e.g., equinodermos, peces, moluscos, artrópodos, entre otros). Como resultado, pueden impactar potencialmente en muchos sistemas fisiológicos a través de una amplia variedad

de efectos moleculares y subcelulares perjudiciales (e.g., daño celular y tisular, inflamación, estrés oxidativo, alteración del metabolismo, apoptosis –proceso de muerte celular programada–, señalización de neurotransmisores y alteración de los orgánulos) (Anderson et al., 2016; Trevisan et al., 2022).

Por ejemplo, para especies como las ostras y copépodos, el exponerse a MP y NP ha resultado en la activación de procesos inflamatorios y oxidativos, e incluso han promovido la mutación y afectación del ADN en células del sistema reproductivo, afectando así células germinales y disminuyendo la fertilidad. Para el caso de peces, como el pez cebra (*Danio rerio*), tanto en larvas como en peces adultos, los MP y NP se han registrado acumulados en la boca, intestino, cerebro, sangre, hígado, corazón, branquias y músculos, resultando en daño neurológico, reproductivo, locomotor, hepático, deformidades en la mandíbula y en la cola, disminución de la natación, entre otros. En embriones de la misma especie, se ha reportado una eclosión temprana, aumentando la tasa de mortalidad. En otras especies acuáticas, como el mejillón azul (*Mytilus edulis*), se ha detectado reducción en la actividad filtradora, mientras que en embriones de erizos de mar (*Paracentrotus lividus*) se han documentado deformidades (Costa et al., 2016).

**Vida terrestre.** Una vez que los MP y NP terminan en el mar y son consumidos por organismos marinos, se incrementan las probabilidades para que posteriormente sean ingeridos por los seres humanos y otras especies no marinas (Aldana et al., 2022).

Para el ámbito terrestre, es poco conocido el efecto perjudicial de las partículas presentes en suelos y sedimentos, y su impacto en

las criaturas terrestres, no obstante, se estima que éstos sean igual o más problemáticos que en los océanos pues se considera que podrían tener consecuencias negativas a largo plazo en los ecosistemas terrestres de todo el mundo. Se estima que la contaminación terrestre por partículas de plástico es entre 4 y 23 veces mayor que la de los mares. Además, la longitud de los microplásticos en el sedimento es menor (1.6 mm) respecto a los encontrados en agua (1.9 mm), gracias a que en los suelos se lleva a cabo una fotodegradación con altas temperaturas y elevadas concentraciones de oxígeno diferentes a las del ambiente marino. Por lo tanto, existe gran atención en análisis de rutina sobre muestras terrestres de suelo para detectar la presencia de MP y NP.

A nivel de la fauna terrestre, se han estudiado particularmente organismos asociados al suelo, como lombrices de tierra, nematodos y colémbolos, que han funcionado como bioindicadores específicos para determinar cómo los MP y NP pueden afectar su crecimiento, reproducción, vida útil y supervivencia a través de varios mecanismos de toxicidad, que incluyen bioacumulación, daño al ADN, genotoxicidad, disbiosis de la microbiota intestinal, daño histopatológico, trastornos metabólicos, neurotoxicidad, estrés oxidativo y toxicidad reproductiva. Todos estos efectos podrían verse reflejados en una disminución de las actividades ecológicas naturales de estos organismos, como la descomposición de la hojarasca, el ciclo de nutrientes y el flujo de energía, que implicaría diversos peligros potenciales para el medio ambiente y la salud (Wang et al., 2021).

Lamentablemente, en la actualidad existen pocos estudios sobre la contaminación por MP y NP en la cadena alimentaria terrestre, por lo que esta insuficiencia de

datos debería ser una alta prioridad para futuras investigaciones.

**Salud humana.** A pesar de que el ser humano fue quien inventó el plástico, la aparición de MP y NP en humanos a través de diferentes cadenas alimenticias ha sido un tema de gran preocupación científica. Aunque todavía no hay datos concluyentes para establecer la asimilación y el metabolismo de los MP y NP en el cuerpo humano, se han propuesto diversas rutas de ingreso, así como mecanismos de asimilación.

**Ingestión.** Diferentes estudios han comprobado que los MP y NP se encuentran en animales de consumo humano, tales como vacas, pollos y especialmente en productos marinos (pescados y mariscos); además, se ha demostrado su presencia en agua del grifo, en agua embotellada, en sal de mesa, en miel, en refrescos y en cerveza, productos de alta importancia para el consumo humano. Como dato interesante, se ha estimado que las personas que consumen agua embotellada podrían estar ingiriendo 90 000 microplásticos por este medio, en comparación con los 4000 microplásticos que ingieren las personas que dependen totalmente del agua del grifo (Díaz-Basantes et al., 2020).

El mayor problema que se ha encontrado debido a la ingestión de MP y NP en los humanos es el almacenamiento de estos en el hígado, riñón y estómago, y utilizando la endocitosis (proceso en el que una célula absorbe moléculas del exterior para su digestión) para entrar al sistema circulatorio. Además, se cree que los MP y NP se pueden acumular en las células y los tejidos humanos causando trastornos metabólicos e inflamación local. En este sentido, la absorción, así como los efectos citotóxicos han sido demostrados

en varias líneas de células humanas, incluidas células pulmonares, células intestinales, así como células cerebrales y epiteliales (Revel et al., 2018). Sin embargo, no se tiene información sobre los efectos a largo plazo de este acumulamiento.

**Inhalación.** Se considera como la ruta de exposición más común de MP y NP debido a su facilidad de propagación mediante el viento. Proviene de múltiples fuentes, por ejemplo, de telas sintéticas, de cloruro de vinilo (usado para elaborar tuberías, revestimientos de alambres y cables, materiales para empaquetar), de policloruro de vinilo, entre otros. Una vez en el cuerpo humano, estos pueden acumularse en vías circulatorias y respiratorias, provocando inflamación y estrés oxidativo en las células pulmonares, así como incremento de proteínas específicas (e.g., TGF- $\beta$  y TGF- $\alpha$  - proteínas celulares encargadas de múltiples procesos metabólicos), provocando apoptosis en los tejidos pulmonares. Asimismo, estudios epidemiológicos han relacionado la contaminación del aire por MP y NP con graves repercusiones respiratorias y cardiovasculares (Zhang et al., 2020).

Además, se ha registrado que los MP y NP también actúan como medios de transporte de contaminantes para otros elementos tóxicos, como el DDT (dicloro difenil tricloroetano - plaguicida) y el hexaclorobenceno (fungicida). En consecuencia, estos elementos tóxicos podrían ingresar al ser humano a través del consumo de los MP y NP, afectando la salud humana.

**Contacto dermal.** La piel restringe la absorción y el paso de partículas mayores a 10 nm al torrente sanguíneo gracias al estrato córneo (capa más externa de la piel que forma una barrera contra lesiones, productos químicos y agentes microbianos), sin embargo se

ha considerado que es posible que ingresen a través de heridas, glándulas sudoríparas o folículos pilosos. Al respecto existe la hipótesis de que las partículas de plástico pueden introducirse en la piel a través de productos de salud y belleza, o a través del contacto con agua contaminada con NP. Al respecto, se han realizado diferentes estudios con base en poliestireno (usado para elaborar autopartes, perillas, paneles de instrumentos, molduras, espuma para mitigar el ruido, entre otros), que han comprobado que los MP y NP pueden ser absorbidos por el cuerpo humano a través de la barrera cutánea (Revel et al., 2018). Sin embargo, es importante realizar estudios con otros tipos de plásticos que permitan tener una idea general de las cualidades de permeabilidad de los MP y NP.

### **Información bibliométrica**

Adicionalmente, para esta revisión se implementó una búsqueda en Scopus mediante la estrategia de búsqueda “nanoplastic” OR “microplastic” AND “marine” OR “aquatic”, usando complementariamente la herramienta Bibliometrix (R Studio Cloud) con su interfaz Biblioshiny, para determinar publicaciones anuales y producción por países.

Específicamente para artículos científicos publicados, encontramos 6,722 documentos sobre el tema, la mayoría (87%) publicados entre 2019-2023 (Figura 3), principalmente por autores adscritos a instituciones de China, USA e Italia (Figura 4); cabe señalar que paradójicamente los dos primeros países mencionados son los que presentan mayores registros de contaminación a nivel mundial. Cabe resaltar que, en el título de los artículos, las palabras más frecuentes fueron “microplástico(s)”, “marino” y “contaminación”, lo cual concuerda con las temáticas más abordadas en esta temática (Figura 5).

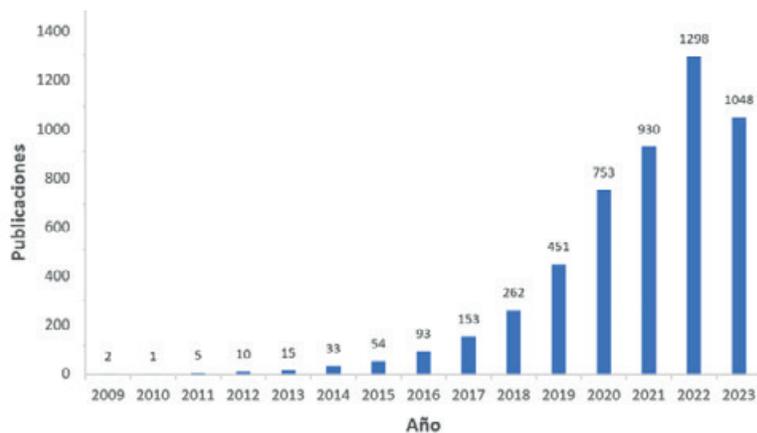


Figura 3. Distribución de documentos publicados por año sobre micro y nanoplásticos en organismos acuáticos, terrestres y humanos.

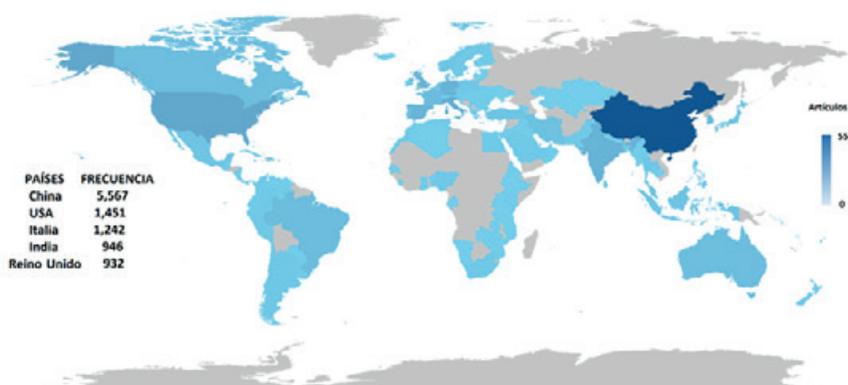


Figura 4. Producción científica (frecuencia) por país a nivel mundial.

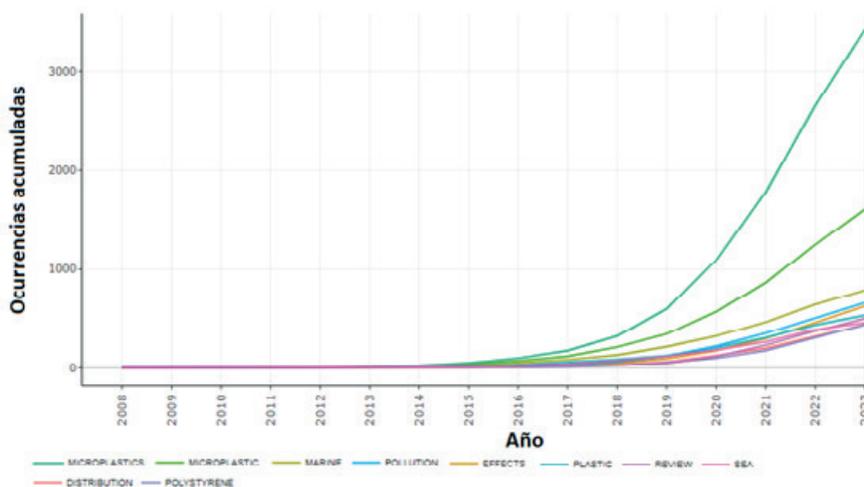


Figura 5. Palabras más usadas en el título a lo largo del tiempo.

### Soluciones estratégicas

Se han estado desarrollando tecnologías innovadoras para eliminar MP y NP de las aguas contaminadas. Entre ellas, se encuentran las tecnologías de adsorción (proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material determinado), coagulación (proceso de adición de coagulantes –sulfato de aluminio– para atrapar materiales), fotocátalisis (proceso que por radiación solar o artificial es posible eliminar contaminantes), biorremediación (trata sobre el uso de organismos vivos como los microbios para eliminar contaminantes mediante reacciones de oxidación-reducción), filtración (proceso de separación de sólidos en una suspensión a través de un medio mecánico poroso), entre otras.

Adicionalmente, promover una gestión más adecuada de los desechos plásticos y fortalecer el desarrollo de tecnologías avanzadas para la conversión o degradación de MP y NP resultan cruciales. Finalmente, es necesario el desarrollo de plásticos biodegradables como alternativa a los plásticos convencionales.

### Conclusión

Los MP y NP como contaminantes ambientales emergentes son uno de los problemas medioambientales más desafiantes de nuestro tiempo. En esta revisión, se analiza y se resume información relacionada con la toxicidad de los MP y NP hacia los seres vivos, resaltando la alta viabilidad de ser transportado a diferentes niveles ambientales a nivel mundial, por lo que resulta urgente trabajar en técnicas para su detección. En los últimos 5 años, se ha presentado un incremento en el número de estudios sobre el tema, sin embargo, estamos lejos de comprender el destino y los impactos de los MP y NP, por lo que es necesario plantear

metodologías armonizadas y confiables que permitan para analizar MP y NP en una gran diversidad de muestras ambientales.

### Referencias

- Aldana-Aranda, D., Enríquez Díaz, M. y Castillo Escalante, V., El Caribe y su contaminación por microplásticos, *Ciencia*, 73[2], pp. 8–13, 2022.
- Anderson, J. C., Park, B. J. y Palace, V. P., Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environ. Pollut.*, 218, pp. 269-280, 2016.
- Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C. y Rocha, S. T., (Nano) plastics in the environment-Sources, fates and effects, *Sci. Total. Environ.*, 566–567, pp. 15-26, 2016.
- Diaz-Basantos, M. F., Conesa, J. A. y Fullana, A., Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants, *Sustainability*, 12[14], pp. 5514. 2020.
- Lim, X., Microplastics are everywhere—but are they harmful, *Nature*, 593[7857], pp. 22–25, 2021.
- Revel, M. Chatel, A. y Mouneyrac, C., Micro(nano)plastics: a threat to human health? *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 1, pp. 17–23, 2018.
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., et al. Rethinking Microplastics as a Diverse Contaminant Suite, *Environ. Toxicol. Chem.*, 38, pp. 703–711, 2019.
- Sangkham, S., Faikhaw, O., Munkong, N., Sakunkoo, P., Arunlertaree, Ch., Chavali,

- M., Mousazadeh, M. y Tiwari, A., A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health, *Mar. Pollut. Bull.*, 181, pp. 113832, 2022.
- Tekman, M. B., Walther, B., Peter, C., Gutow, L. y Bergmann, M., Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems, 1–221, 2022. WWF Germany, Berlin.
- Trevisan, R., Ranasinghe, P., Jayasundara, N. y Di Giulio, R. T. Nanoplastics in aquatic environments: impacts on aquatic species and interactions with environmental factors and pollutants. *Toxics*, 10[6], pp. 326, 2022.
- Vaccari, F., Forestieri, B., Papa, G., Bandini, F., Huerta-Lwanga, E., Boughattas, I., Missawi, O., Banni, M., Negri, I., Sandro, P. y Puglisi, E., Effects of micro and nanoplastics on soil fauna gut microbiome: An emerging ecological risk for soil health, *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 30, pp. 100402, 2022.
- Wang, Q., Adams, C. A., Wang, F., Sun, Y. y Zhang, S., Interactions between microplastics and soil fauna: A critical review, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 52[18], pp. 1–33, 2021.
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T. y Sillanpää, M., Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives, *Earth-Sci. Rev.*, 203, pp. 103118, 2020.