

SECCIÓN ACADÉMICA

**Microplásticos en ambientes
acuáticos: ¿cuáles son las
tecnologías para su eliminación?**

**Cultivo de tomate (*Solanum
lycopersicum* L.) en riego
deficitario y suelo enriquecido
con estiércol caprino**

**Estudio de caso de una
reforestación con especies
nativas del noreste de México**

Microplásticos en ambientes acuáticos: ¿cuáles son las tecnologías para su eliminación?

Denise Margarita Rivera-Rivera*
ORCID: 0000-0003-0877-2390

Melissa Marlene Rodríguez-Delgado*
ORCID: 0000-0003-3240-3560

Juan Francisco Villarreal-Chiu*
ORCID: 0000-0002-0419-9294

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.131-4>

RESUMEN

La contaminación plástica atrae gran preocupación debido a sus efectos adversos al medio ambiente y la salud de la sociedad en general. Por ello, se han explorado diferentes tecnologías con enfoques físicos, químicos y biológicos para eliminar estos contaminantes en el agua, entre las que destacan la filtración por membrana de adsorción, la coagulación, la oxidación y la degradación microbiana. Por lo tanto, las tecnologías de eliminación de microplásticos abordadas en este trabajo presentan ventajas y desventajas. Actualmente se considera que la combinación de múltiples tecnologías mejoraría su implementación a gran escala, como en las plantas de tratamiento de agua residual.

Palabras clave: microplásticos, nanoplásticos, contaminación, tecnologías de eliminación, ambientes acuáticos.

ABSTRACT

Plastic pollution attracts massive concern due to its adverse environmental and societal health effects. Therefore, different technologies have been explored with physical, chemical, and biological approaches to eliminate these contaminants in water, among which membrane filtration, adsorption, coagulation, oxidation, and microbial degradation stand out. Therefore, the microplastic removal technologies addressed in this work have advantages and disadvantages. It is considered that combining multiple technologies would improve their large-scale implementation, such as in wastewater treatment plants.

Keywords: microplastics, nanoplastics, pollution, removal technologies, aquatic environments.

Desafortunadamente, la producción mundial de plástico ha aumentado exponencialmente durante las últimas décadas, derivando en una acumulación significativa de basura en los ecosistemas (Plastics Europe, 2019). Este incremento no sólo se debe a su alta demanda, también a un sistema de gestión de residuos deficiente, por lo que una cantidad significativa no se recupera y termina como desecho en diversos entornos naturales (Zhang *et al.*, 2020). La basura en los sistemas acuáticos plantea varios peligros para las especies que viven en ellos, siendo víctimas de obstrucciones físicas

como enredos o asfixia. Sin embargo, un problema que ha tomado relevancia durante los últimos años es la posible ingesta de micro y nanoplásticos, causando su introducción en las cadenas alimenticias y por ende provocando graves daños a su funcionamiento biológico (Padervand *et al.*, 2020). El término microplástico hace referencia a los fragmentos de este material que presentan un tamaño por debajo de los 5 mm (más pequeño que una mosca) (Cheng *et al.*, 2021), los cuales pueden generarse a partir de fuentes primarias o secundarias (figura 1).

* Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.
Contacto: deni.mrr@gmail.com, melissa.rodriguezdl@uanl.edu.mx, juan.villarrealch@uanl.edu.mx

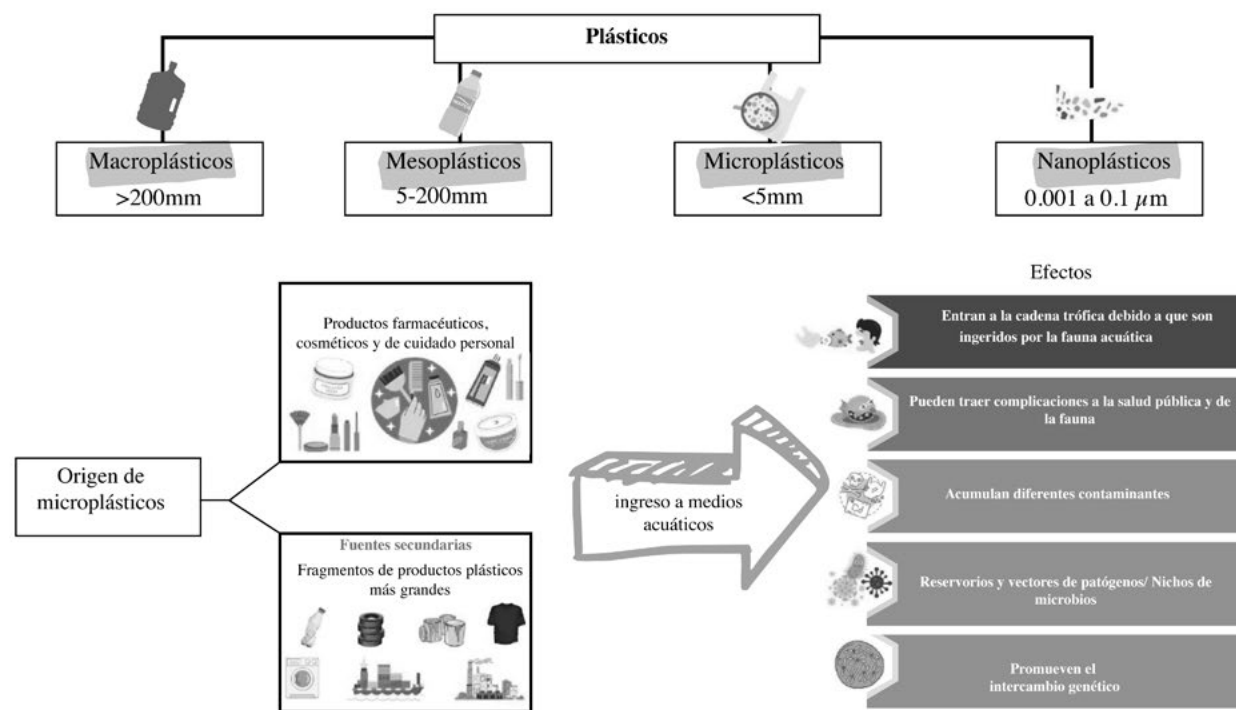


Figura 1. Contaminación plástica en ecosistemas acuáticos.

Las fuentes primarias corresponden a procesos de manufactura en los cuales se diseñan estas partículas plásticas con dimensiones así de pequeñas con fines comerciales, para su uso en productos farmacéuticos, cosméticos y de cuidado personal. Mientras que las fuentes secundarias se refieren a los métodos de fragmentación (mecánicos o por factores ambientales) que provocan el rompimiento de productos grandes (Lehtiniemi *et al.*, 2018). No obstante, con el tiempo, los microplásticos pueden seguir fragmentándose en partículas aún más pequeñas, dando origen a los nanoplásticos (0.001 a 0.1 µm, tamaño de bacterias) (Hartmann *et al.*, 2019). Dichos fragmentos son capaces de absorber, transportar y liberar compuestos peligrosos como metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes, que tienen consecuencias dañinas cuando son liberados en el medio acuático (Cui *et al.*, 2022).

En 2016 se reportó que entre 19 y 23 millones de toneladas métricas de plástico ingresaron a los sistemas acuáticos en todo el mundo (figura 2), siendo los océanos los más afectados (Parvin *et al.*, 2021). Lo anterior equivale a llenar el Estadio Azteca 105 y 127 veces, respectivamente. En este sentido, se estima que en 2030 la cantidad que ingrese a estos ecosistemas sea el equivalente a llenar 290 veces el Estadio Azteca (Borrelle *et al.*,

2020). El problema ha alcanzado niveles alarmantes, ya que incluso se ha reportado la presencia de microplásticos en agua embotellada (Schymanski, *et al.*, 2018). Es por ello que la eliminación de estas partículas es un tema que concierne a todo el mundo, provocando que se exploren distintos esquemas para su remoción (Dey *et al.*, 2021). Hasta el momento, se han implementado diferentes tecnologías con enfoques físicos, químicos y biológicos que buscan eliminar estos contaminantes en el agua, entre las que destacan la filtración por membrana de adsorción, la coagulación, la oxidación y la degradación microbiana (Shi *et al.*, 2022).

PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE REMOCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA

Una de las metodologías más empleadas por su simpleza es la filtración, la cual consiste en la separación de los microplásticos en el agua al hacerla pasar a través de un medio mecánico poroso. De acuerdo con el material empleado, la filtración puede ser granular (con arenas de cuarzo, perlas de vidrio, carbón activado, etcétera) o por membranas finas

(comúnmente de policarbonato, acetato de celulosa y politetrafluoroetileno) (Mbachu *et al.*, 2020). En esta metodología la eficiencia de separación está estrechamente relacionada con las condiciones de flujo y las propiedades del filtro, siendo el carbón activado el material que ha reportado una eficacia mayor del 95% de remoción de microplásticos de diámetro de hasta 10 µm (Adegoke *et al.*, 2023).

Por otro lado, en la metodología basada en el mecanismo de adsorción, las partículas se adhieren a la superficie de un material (adsorbente). Los adsorbentes más utilizados son los granulares, en polvo o nanopartículas magnéticas, aunque recientemente se han utilizado materiales de base biológica (como aerogel o biocarbón, derivados de rastrojo de maíz y madera) (Zhuang *et al.*, 2022). Mientras que la coagulación química

consiste en desestabilizar los microplásticos suspendidos mediante la adición de coagulantes, los cuales forman conglomerados que sedimentan y posteriormente se pueden recoger y eliminar del agua (Cheng *et al.*, 2021). Este método tiene una gran eficiencia siempre y cuando se seleccione el pH, coagulante y dosis adecuados (Rajala *et al.*, 2020). Los coagulantes más utilizados son el hidróxido y sulfato de aluminio (Azizi *et al.*, 2023).

La oxidación química se basa en la descomposición en moléculas más pequeñas hasta llegar a la formación de agua y CO₂. Los procesos más utilizados son: Fenton, fotocátalisis, UV/H₂O₂ y los basados en ozono. La eficiencia de éstos puede diferir en relación con la temperatura, pH, irradiación UV, tiempo de reacción y la forma de los microplásticos (Dos Santos *et al.*, 2021).

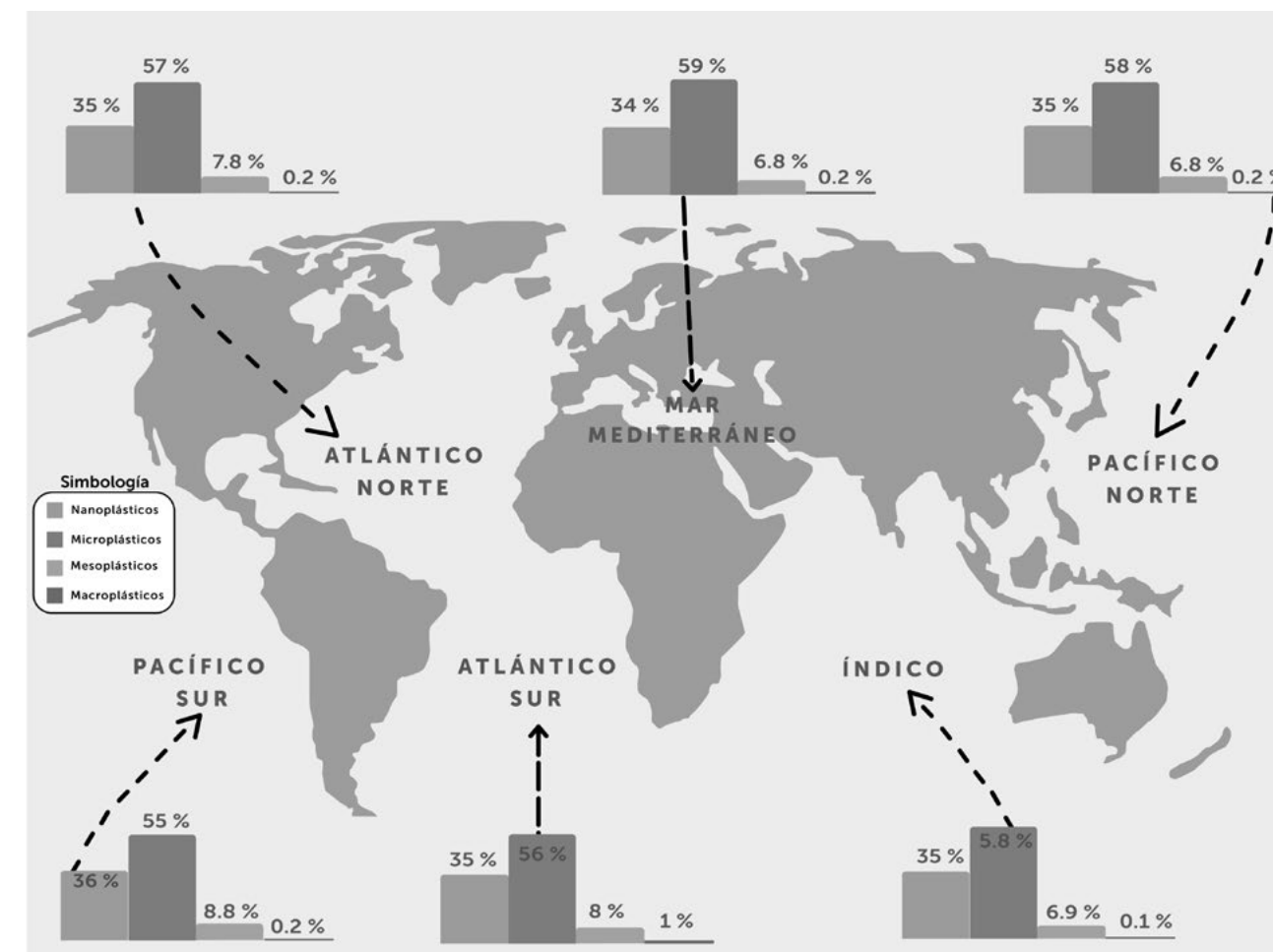


Figura 2. Proporción de basura plástica en los océanos (adaptado de Arkin y Schächtele, 2020).

Tabla I. Ventajas y desventajas de los métodos de remoción de microplásticos.			
Método	Ventajas	Desventajas	Ambiente donde se aplica
Filtración	Bajo costo Bajo consumo de energía	Bajo flujo de la membrana Obstrucción de la membrana Necesidad de presión transmembrana	Ambiente acuático natural Planta de tratamiento de agua potable Planta de tratamiento de aguas residuales
Adsorción	Método sencillo	Los adsorbentes pueden causar contaminación secundaria	Ambiente acuático natural Ambiente marino
Coagulación	Operación simple Bajo costo	Generación de residuos químicos	Planta de tratamiento de agua potable Planta de tratamiento de aguas residuales
Oxidación	Remoción de microplásticos de menor tamaño	Generación de residuos Alto consumo de energía Costo elevado Requiere mucho tiempo	Planta de tratamiento de aguas residuales
Degradación microbiana	Tecnología económica Respetuosa con el medio ambiente	Baja eficiencia de degradación Etapa preliminar	Ambiente marino Planta de tratamiento de aguas residuales

Finalmente, la metodología por degradación microbiana consiste en el uso de microorganismos (bacterias, hongos o microalgas) que degradan el plástico al colonizar la superficie de los microplásticos y secretar enzimas que desempeñan un papel crucial en su descomposición (Yuan *et al.*, 2020). De los más de 400 microbios capaces de degradar el plástico, cerca del 50% corresponde a los hongos (Ekanayaka *et al.*, 2022). En general, los procesos de remoción de microplásticos en medios acuáticos dependen de diversos factores, como el tamaño, composición y forma de éstos. Además, el transporte de los fragmentos se ve influenciado por su tamaño, mientras más pequeños más se extenderán por los ecosistemas y será más difícil su eliminación.

Otro punto importante que considerar es que algunas de las técnicas de remoción, como la adsorción por separación magnética o la coagulación, introducen sustancias al medio que podrían generar contaminación secundaria en los ambientes acuáticos, siendo esto una desventaja

ya que se debe buscar una eliminación completa de estos materiales después del tratamiento (tabla I). Por lo tanto, las tecnologías de eliminación de microplásticos abordadas en este trabajo presentan ventajas y desventajas, por lo cual, actualmente se considera que la combinación de múltiples tecnologías mejoraría su implementación a gran escala, como en las plantas de tratamiento de agua residual.

CONCLUSIONES

La evidente tendencia en la acumulación de microplásticos en los ecosistemas acuáticos ha alcanzado proporciones alarmantes, con estimaciones que sugieren un aumento significativo en los próximos años. Ante este desafío, la remoción efectiva de estos contaminantes se vuelve crucial para preservar la biodiversidad y proteger la salud humana. Considerando la información presenta-

da, se destaca que la filtración es todavía una de las opciones más eficaces en la remoción (95%) de partículas de hasta 10 µm.

Sin embargo, es importante reconocer que conforme el tamaño de partícula disminuye, la remoción se vuelve compleja y es allí donde se requiere un enfoque integral que combine múltiples métodos en aras de abordar completamente este problema. En este sentido los procesos de oxidación permiten la eliminación de microplásticos de menor tamaño, pero generan residuos que aún no permiten que sea un método escalable. Finalmente, es importante resaltar que la sinergia entre la investigación y la innovación son esenciales si se desea encontrar soluciones efectivas y duraderas que nos permitan combatir la crisis de contaminación en nuestros océanos y cuerpos de agua.

REFERENCIAS

Adegoke, Kayode Adesina, Adu, Folasade Abimbola, Oyebamiji, Abel Kolawole, *et al.* (2023). Microplastics toxicity, detection, and removal from water/wastewater, *Marine pollution bulletin*, 187, 114546.
Arkin, Claire, y Schächtele, Kai. (2020). *Atlas del plástico: datos y cifras sobre el mundo de los polímeros sintéticos 2020*, México: Heinrich Böll Foundation.
Azizi, Seyed M.M., Haffiez, Nervana, Zakaria, Basem, *et al.* (2023). Nano-and microplastics as carriers for antibiotics and antibiotic resistance genes, In *Current developments in biotechnology and bioengineering* (pp. 361-385), Elsevier.
Borrelle, Stephanie, Ringma, Jeremy,; Laverder-Law, Kara, *et al.* (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution, *Science*, 369(6510), 1515-1518.

Cheng, Yan L., Kim, Jong-Gook, Kim, Hye-Bin, *et al.* (2021). Occurrence and removal of microplastics in wastewater treatment plants and drinking water purification facilities: A review, *Chemical Engineering Journal*, 410, 128381.
Cui, Ruofan, Jong, Mui-Choo, You, Luhua, *et al.* (2022). Size-dependent adsorption of waterborne Benzophenone-3 on microplastics and its desorption under simulated gastrointestinal conditions, *Chemosphere*, 286, 131735.
Dey, Thuhin, Uddin, Md Elias, y Jamal, Mamun. (2021). Detection and removal of microplastics in wastewater: evolution and impact, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 16925-16947.
Dos Santos, Naiara de O., Teixeira, Luiz A., Zhou, Qizhi, *et al.* (2022). Fenton pre-oxidation of natural organic matter in drinking water treatment through the application of iron nails, *Environmental Technology*, 43(17), 2590-2603.
Ekanayaka, Anusha, Tibpromma, Saowaluck, Dai, Donqin, *et al.* (2022). A review of the fungi that degrade plastic, *Journal of Fungi*, 8(8), 772.
Hartmann, Nanna, Huffer, Thorsten, Thompson, Richard, *et al.* (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris, *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1039-1047.
Lehtiniemi, Maiju, Hartikainen, Samuel, Näkki, Pinja, *et al.* (2018). Size matters more than shape: ingestion of primary and secondary microplastics by small predators, *Food Webs*, 17, e00097.
Mbachu, Oluchi, Jenkins, Graham, Pratt, Chris, *et al.* (2020). A new contaminant superhighway? A review of sources, measurement techniques and fate of atmospheric microplastics, *Water, Air & Soil Pollution*, 231, 1-27.
Padervand, Mohsen, Lichtfouse, Eric, Robert, Didier, *et al.* (2020). Removal of microplastics from the environment. A review, *Environmental Chemistry Letters*, 18(3), 807-828.

Parvin, Fahmida, Jannat, Shumya, y Tareq, Shafi. (2021). Abundance, characteristics and variation of microplastics in different freshwater fish species from Bangladesh, *Science of the Total Environment*, 784, 147137.

Plastics Europe and European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations. (2019). *Plastics-the facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data*, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>

Rajala, Katriina, Grönfors, Outi, Hesampour, Mehrdad, *et al.* (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals, *Water Research*, 183, 116045.

Schymanski, Darena, Goldbeck, Christopher, Humpf, Hans-Ulrich, *et al.* (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water, *Water research*, 129, 154-162.

Yuan, Jianhua, Ma, Jie, Sun, Yiran, Zhou, Tao, *et al.* (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics, *Science of the Total Environment*, 715, 136968.

Zhang, Qun, Zhao, Yaping, Du, Fangni, *et al.* (2020). *Microplastic fallout in different indoor environments*, *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6530-6539.

Zhuang, Jie, Rong, Nannan, Wang, Xuerong, *et al.* (2022). Adsorption of small size microplastics based on cellulose nanofiber aerogel modified by quaternary ammonium salt in water, *Separation and Purification Technology*, 293, 121133.

Recibido: 13/02/2024
Aceptado: 25/04/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.

