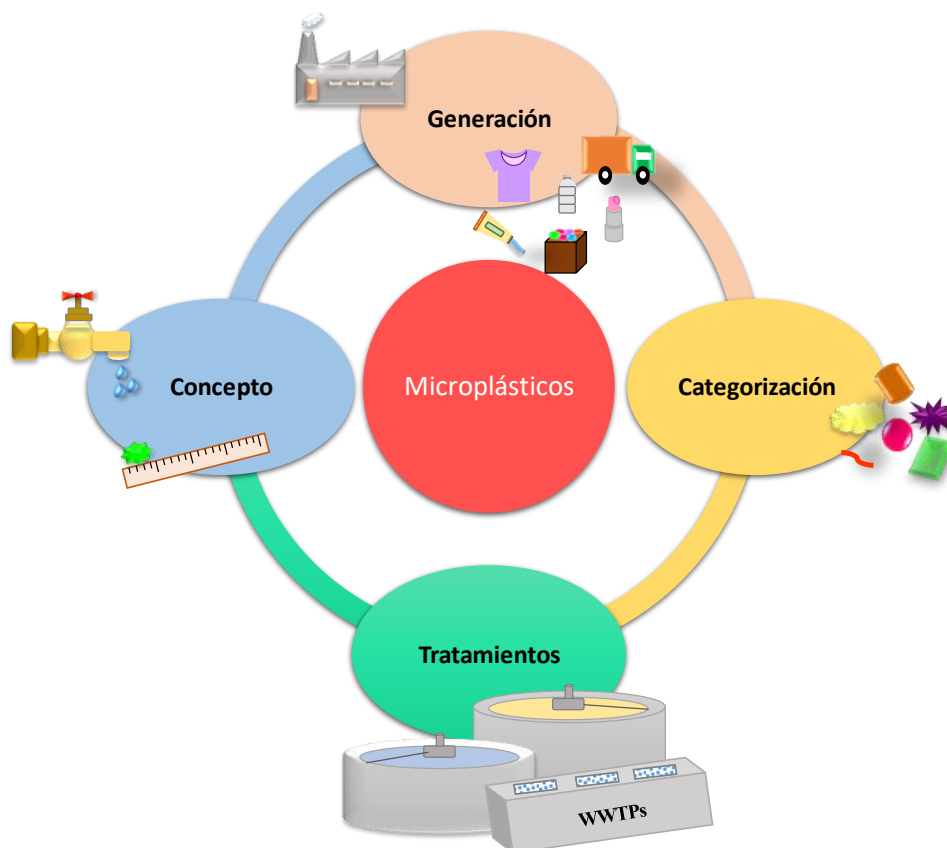


## Microplásticos (MP): Clasificación, aplicación y remoción

## Microplastics (MP): Classification, application and removal



María Elena Páez-Hernández, Israel S. Ibarra Ortega, Rosa Luz Camacho-Mendoza,

Irma Pérez Silva\*

Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184,

Pachuca, Hidalgo, México

\*Autor para correspondencia : [iperez@uah.edu.mx](mailto:iperez@uah.edu.mx)

## **Resumen**

La presente revisión tiene por objeto dar a conocer información general sobre los microplásticos (MP) tal como su concepto, clasificación y formas de remoción implementadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Un MP es un polímero sintético cuyas dimensiones no exceden los 5mm, dentro de sus propiedades se encuentra la baja biodegradabilidad y su capacidad de adsorber compuestos tóxicos, los cuales al entrar en contacto con un cuerpo de agua pueden ser liberados, por esta razón se encuentran entre los 10 principales problemas de contaminación ambiental. Los MP pueden ser primarios (fabricados para formar parte de un producto como cremas, cosméticos, pastas dentales, jabones, etc.) o secundarios (proviene de la fragmentación de un plástico) lo cual genera que su morfología y composición sea muy diversa lo cual trae como consecuencia que no todas las etapas que se tienen en una planta de tratamiento de aguas residuales tengan la misma eficiencia por lo que es necesario contar con nuevas técnicas de tratamiento como es la electrocoagulación.

**Palabras Clave:** microplásticos, agua de desecho, tratamiento

## **Abstract**

In this review will explain the generalities about microplastics (MP) such as concept, classification and forms of removal implemented in wastewater treatment plants. MP is a synthetic polymer with dimensions do not more that 5mm, between their properties are low

biodegradability and the ability to adsorb toxic compounds which can be released when they come into contact with a body of water. For this reason, they are in the top 10 environmental pollution problems. MP can be primary (designed for a specific product such as creams, cosmetics, toothpastes, soap, etc.) or secondary (result of breakdown of other plastics) which a morphology and composition very diverse, these bring that result that not all the stages in a wastewater treatment plant have the same efficiency, for this reason is necessary to have new treatment techniques such as electrocoagulation.

**Keywords:** microplastics, wastewater, treatment

## 1. Introducción

Desde hace más de medio siglo los materiales plásticos sintéticos comenzaron a sustituir diversos materiales naturales en casi todas las áreas, por lo que, se convirtieron en una parte indispensable del desarrollo humano debido a sus propiedades físicas y químicas (por ejemplo, peso ligero, alta resistencia a la corrosión, bajo costo y excelente deformabilidad, mismas características que han ocasionado diversos problemas de contaminación (Fortunato y col., 2010).

En 2021, se reportó que la producción mundial de plásticos fue de alrededor de 390.7 millones de toneladas, de las cuales alrededor de 125 millones fueron fabricadas en China. La producción global fue manufacturada en estas proporciones: 19.3 % es de polipropileno (PP), 14.4% de polietileno de baja densidad (PE-LD), 12.5% de polietileno de alta densidad (PE-HD), 12.9% de cloruro de polivinilo (PVC), 6.2% de tereftalato de polietileno (PET), 5.5% de poliuretano (PUR) y 5.3% de poliestireno (PS) (Plastics Europe, 2022). Por otro

lado, en 2018, México reportó una producción de estos en 7 millones de toneladas, de las cuales 48% se utilizan en el envasado de diversos productos, 12% en construcción, 6% en productos electrónicos y 4% en la industria automotriz por citar solo algunos (Aguirrezabal, 2019).

Aunado a la contaminación ocasionada por la presencia de los plásticos en el medio ambiente, su fabricación emplea diversos compuestos químicos como estabilizadores, pigmentos, etc. Algunos de estos compuestos debido a su alta toxicidad, se encuentran en la lista de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) y la Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (OSPAR). Por ejemplo, el bisfenol A (empleado en la producción de policarbonato) es capaz de causar efectos disruptores endocrinos, mientras que el estireno y cloruro de vinilo pueden ocasionar efectos cancerígenos y/o mutagénicos. Por lo que, al entrar en contacto estos plásticos con el agua, pueden liberar contaminantes orgánicos persistentes y metales que se encuentran adsorbidos en ellos los cuales estarán disponibles para diversas especies marinas para su ingestión ocasionando un daño para estas especies (Rochman, 2015). Los plásticos pueden sufrir un proceso de meteorización y fragmentación debido a su exposición a diversas condiciones medioambientales tales como los factores abióticos (radiación solar, temperatura y abrasión mecánica) y bióticos (microorganismos) ocasionando así la formación de microplásticos (MP) (Jang y col., 2018). La gran formación de MP los ha convertido en uno de los 10 principales problemas de contaminación ambiental de acuerdo con las Naciones Unidas desde el 2014 (Chang y col., 2022).

Considerando lo anterior, en esta revisión se pretende analizar los diferentes tipos de microplásticos que existen, su identificación y los procesos de eliminación con los que se cuenta actualmente.

## **2. Concepto de microplásticos (MP)**

Un MP se define como un polímero sintético con un límite de tamaño superior de 5 mm y sin un límite inferior específico (Yang y col., 2022). Presentan una gran durabilidad y baja tasa de biodegradación, por lo que ha sido reconocido como un contaminante emergente y potencialmente tóxico. Los MP pueden ingresar a aguas receptoras (aguas residuales y aguas tratadas, y en aguas superficiales, incluidos océanos, lagos y ríos), a través de diversas vías como lo son: la escorrentía de aguas pluviales, el viento, las precipitaciones atmosféricas y las descargas de aguas residuales tratadas (Lechthaler y col., 2020). Su presencia en los diversos ecosistemas, principalmente en el acuático, ocasiona daños físicos a una amplia variedad de organismos marinos tales como peces, al causar obstrucciones intestinales y/o posibles desgarramientos del tracto digestivo, por lo que su correcta clasificación y eliminación es indispensable (Ou y Zeng, 2018).

## **3. Clasificación de los MP**

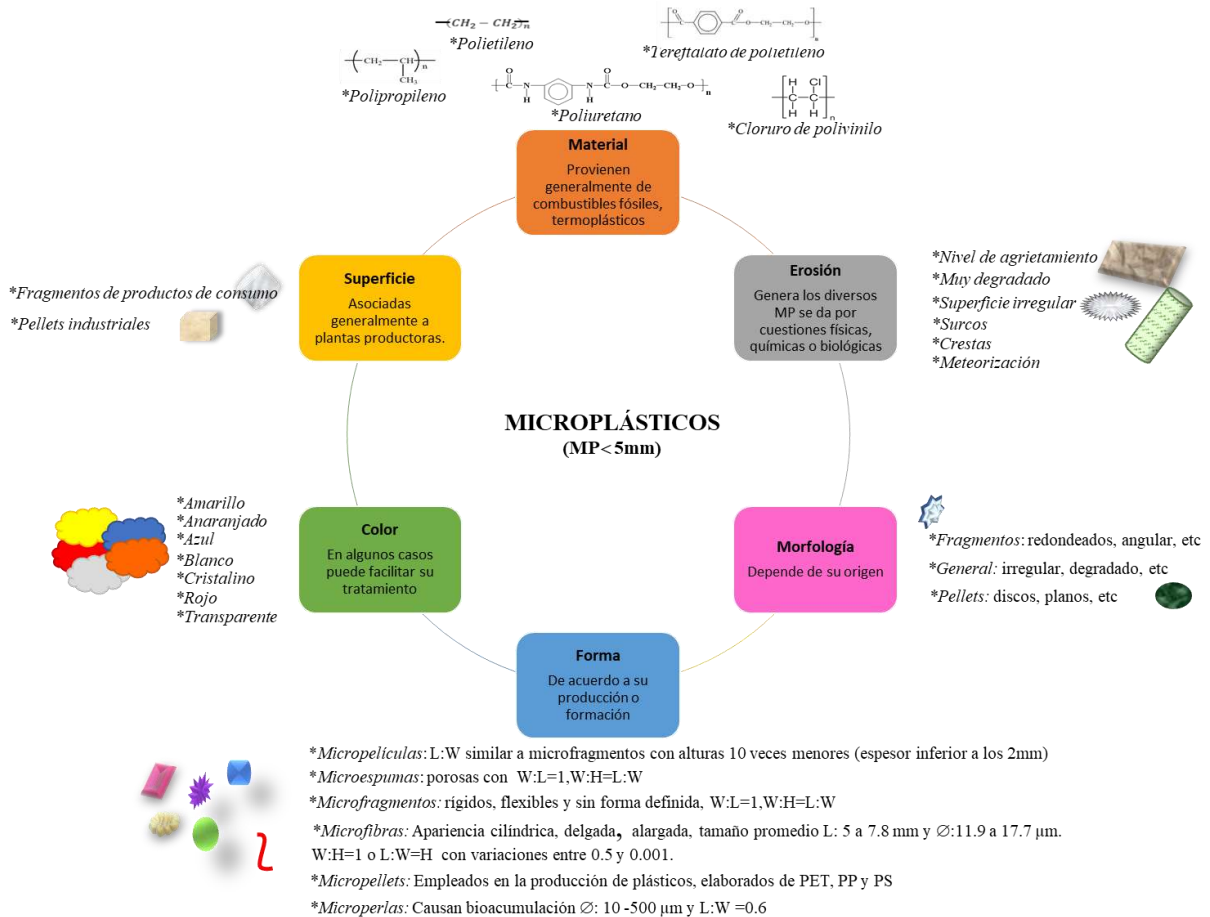
Los MP se pueden clasificar en primarios y secundarios. Los MP primarios son fabricados y utilizados directamente en diversos productos, tales como pastas dentales, cosméticos, jabones, etc., por lo que son desechados directamente al medio ambiente después de su uso. Por otro lado, los MP secundarios se generan por la fragmentación de grandes partículas de plástico. Un ejemplo de esta es la abrasión de hormigones, neumáticos, carreteras, envases o bien la generación de microfibras textiles durante el proceso de lavado (Ngô y col., 2019).

Ya que la generación de MP es muy variada, es necesario realizar una correcta clasificación (**Figura 1**), lo cual favorecerá su proceso de eliminación. Esta clasificación se puede realizar de forma directa (visual), con microscopía óptica y electrónica (para la identificación de textura y forma), y con técnicas cualitativas y cuantitativas como pirólisis, cromatografía de gases acoplada a masas, espectroscopia Raman, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), análisis térmico, microscopía de fuerza atómica y microanálisis de rayos X (Kavya y col., 2020).

De la clasificación mostrada en la **Figura 1**, la más utilizada para la identificación de los MP es su morfología y composición ya que esto permite identificar las fuentes de contaminación y el tipo de tratamiento que se debe de implementar, tal y como se describe a continuación.

#### **4. Caracterización de los MP presentes en los influentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales**

Si bien, la cantidad y tipos de MP presentes en los diversos cuerpos de agua dependen del crecimiento poblacional, las precipitaciones, el uso de suelo, las descargas, etc., es posible analizar su presencia en diversas plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR (Ríos-Mendoza, 2021).

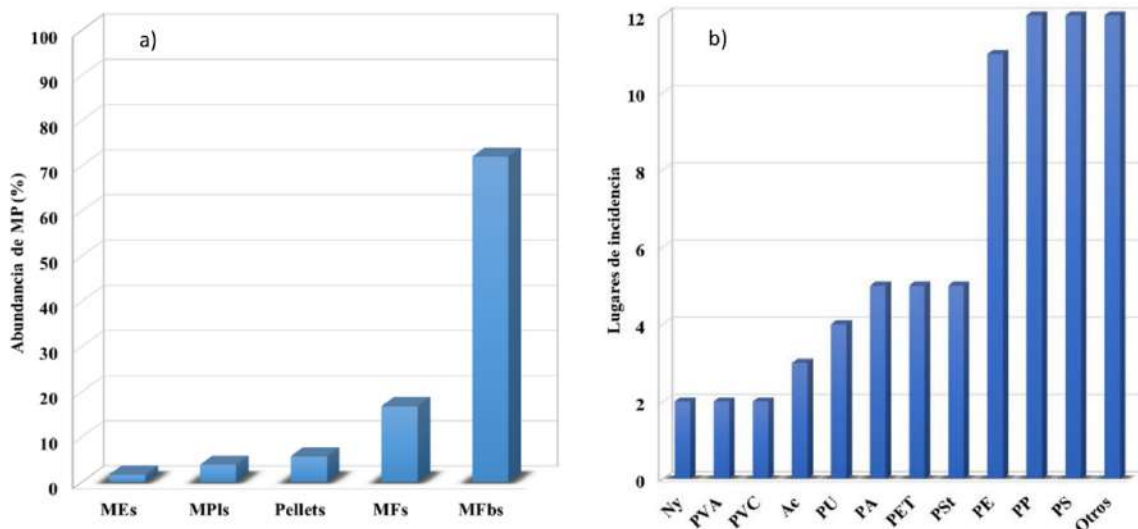


**Figura 1.** Criterios para la categorización de los microplásticos. L: altura, W: peso, H: espesor (Hidalgo-Ruz y col., 2012; Kooi y Koelmans, 2019; Napper, 2016; Su et al., 2016).

Considerando lo anterior, Bui y col. (2020) realizaron una recopilación de los principales MP presentes en las PTAR de diversas partes del mundo. Este estudio muestra que tanto los microfragmentos como las microfibras, son los MP que se encuentran en mayor proporción en los afluentes (**Figura 2a**). Es importante considerar que durante los procesos de lavado de la ropa sintética se forman hasta 6,000,000 microfibras cuando se lavan telas de poliéster y 700,000 microfibras cuando se trata de tela acrílica (Napper, 2016), mientras que los

microfragmentos son el resultado de la degradación de diferentes artículos de plástico lo cual facilita su formación (Zhou y col., 2021).

Lo anterior concuerda con que el PP, PS, PE-LD y PE-HD son los principales materiales encontrados en los MP de las PTAR (**Figura 2b**), ya que este tipo de polímeros son empleados en la fabricación de textiles y envasado de alimentos (Bui y col., 2020). Se sabe también que los MP que ingresan a una PTAR se encuentran en un rango de 650,000 a 65,000,000 microplásticos por día (MP/día), de los cuales, solo entre el 72 y 98% pueden ser eliminados mediante los diversos tratamientos (Magni et al., 2019). Aunado a esto, los MP tienen la capacidad de adsorber diversos contaminantes debido a su hidrofobicidad y gran área superficial al mismo tiempo que al ser ingeridos pueden ocasionar necrosis, pérdida de peso e incluso la muerte a diferentes especies (Ramírez-Álvarez, 2020).



**Figura 2.** Análisis de los principales MP encontrados en las aguas superficiales de diferentes países. a) Morfología. MFs, microfragmentos; MFbs, microfibras; MPis, micropelículas; MEs,

microespumas. b) Material de elaboración. PET, tereftalato de polietileno, PU, poliuretano; PP, polipropileno; PS, poliestireno; Pst, poliéster; Ny, nailon; PVA, alcohol polivinílico; Ac, acrílico; PA, poliamida; PE, polietileno; PVC, cloruro de polivinil (Adaptada de Bui y col, 2020).

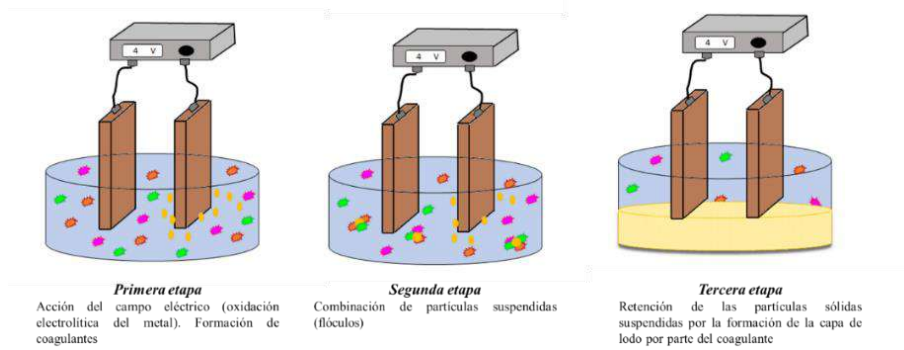
Esto ha generado una preocupación con respecto a la emisión directa de MP en los ambientes acuáticos haciendo necesario revisar las etapas generales empleadas en las PTAR para el tratamiento, tal y como se describe a continuación.

Los diferentes MP que ingresan a las PTAR como parte de los afluentes cambia de acuerdo con la región, lo cual influye directamente en la eficiencia de eliminación (**Tabla 1**). Se ha observado que los tratamientos tanto preliminares como primarios son los más eficientes para la eliminación de MP, mientras que un tratamiento secundario puede mejorar la eficiencia de remoción, al mismo tiempo que un tratamiento terciario es más específico.

## **5. Tratamientos empleados en las PTAR y su eficiencia en la eliminación de microplásticos**

Aunado a lo anterior, se han propuesto diversas técnicas especializadas para la eliminación de MP, tal como la electrocoagulación (EC), la cual fue desarrollada y patentada en 1906 por A.E. Dietrich. Esta técnica combina los beneficios de la coagulación, la flotación y la electroquímica, ya que la corriente eléctrica aplicada al sistema permite la colisión y facilita la coagulación de las partículas en tres fases (Figura 3). Los electrodos utilizados son de materiales rentables y no tóxicos como aluminio, hierro y acero inoxidable, los cuales son metales anódicamente insolubles (Ungureanu y col., 2019). La utilización de esta técnica

permite la eliminación del 99.24% de los MP presentes en el agua doméstica e industrial empleando un electrodo de aluminio (Perren y col. 2018).



**Figura 3.** Proceso de Electrocoagulación (Adaptada de Shen y col., 2022)

**Tabla 1.** Tratamientos implementados para la remoción de los MP presentes en las aguas residuales (Ready y Nair, 2022) (Singh y col. 2021) (Vuori y Ollikainen, 2022)

Tratamiento	Eficiencia (%)	Etapas	Descripción
Preliminar	40-90	Cribado y remoción de arenas	Eliminación de arenas y sólidos de gran tamaño empleando mallas de hasta 0.5 mm lo cual permite retener las fibras de mayor tamaño (con tamaño superior a 300 $\mu\text{m}$ ). No tiene costo adicional.
Primario	40-90	Clarificación (desnatado, sedimentación primaria y decantación)	Su eficiencia depende de las características físicas de los MP y su concentración. Puede eliminar más del 60% de las microfibras y fragmentos de gran tamaño (superiores a 100 $\mu\text{m}$ ). Sin costo adicional.
Secundario	75-90	Lodos activados	Los microorganismos empleados para la conversión de la materia orgánica presente en el agua residual se acumulan en los MP, esto aumenta su densidad y facilita su sedimentación. Remueve principalmente microfibras y espumas.
Terciario	90-95	Coagulación	Se emplean diversos coagulantes como la poliacrilamida, poliamina y sales de aluminio y hierro. Favorece la eliminación de MP de menor tamaño (<0.5mm). Emplea grandes cantidades de coagulante y tiene baja eficiencia.
		Filtros de disco	Se emplean discos con poros entre 10 $\mu\text{m}$ y 20 $\mu\text{m}$ los cuales retienen los MP. Los filtros se pueden dañar por la presión ejercida y por obstrucciones
		Filtros de arena y grava	Los lechos tienen diversas capas que actúan como barrera para los diferentes MP. Su costo es mayor que la implementación de lodos activados.
		Humedales artificiales	Los humedales se diseñan de acuerdo al flujo de agua ((subterráneo, horizontal, y vertical) lo que hace variar la eficiencia. Emplea raíces y sustratos de plantas lo que puede ocasionar que los MP penetren en la membrana celular afectando la remoción de nitrógeno.
Desinfección	~30-38	Desinfección con cloro	En condiciones extremas y largos tiempo de contacto, el cloro oxida a los MP formando enlaces C-Cl lo cual los convierte en ecotóxicos.
		Ozonólisis	El PE, PS, PP y PET pueden ser degradados por el ozono y cambiar sus propiedades físicas y mecánicas como la rugosidad y la hidrofiliidad.
		UV	La degradación de los MP por UV modifica sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas. En algunos casos se ha observado un incremento en su concentración, sin embargo, no existen estudios concluyentes.

## 6. Conclusiones

Si bien los materiales poliméricos sintéticos han permitido el desarrollo de la humanidad en diversos ámbitos, también han generado diversos problemas de contaminación. Uno de estos, es la generación de MP los cuales pueden tener diversas morfologías, tamaños y composiciones dificultando su eliminación en las PTAR. Si bien, la mayor cantidad de MP puede ser eliminada en un tratamiento primario y secundario, es necesario contar con técnicas especializadas que permitan que su remoción sea más eficiente. Una de estas alternativas es la electrocoagulación, la cual facilita el tratamiento de las aguas residuales mediante el uso de materiales accesibles y a bajo costo.

## 7. Agradecimiento

MEPE, ISIO, RLCM e IPS agradecen el apoyo y distinción recibida del SNI.

## 8. Referencias

- Aguirrezabal, I. (2019). Plásticos en México. Oficina Económica y Comercial de España en Ciudad de México (ICEX) DOC2019826983.pdf
- Bui, X.T., Vo, T.D.H., Nguyen, P.T., Nguyen, V.T., Dao, T.S. & Nguyen, P.D. (2020). Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and removal technologies. *Environmental Technology & Innovation*. 19, 101013. DOI:10.1016/j.eti.2020.101013
- Chang, X., Fang, Y., Wang, Y., Wang, F., Shang, L., Zhong, R. (2022). Microplastic pollution in soils, plants, and animals: A review of distributions, effects and potential mechanisms. *Science of the Total Environment*. 850, 157857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157857

- Fortunato, A., Cuccolini, G., Ascari, A., Campana, G. & Tani, G. (2010). Hybrid metal-plastic joining by means of laser. *International Journal of Material Forming*. 3, 1131-1134. DOI: 10.1007/s12289-010-0971-1
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow L., Thompson R.C. & Thiel, M. (2012) Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science Technology*. 46, 3060-3075. DOI: 10.1021/es2031505
- Jang, M., Shim, W.J., Han, G.M., Song, Y.K. & Hong, S.H. (2018). Formation of microplastics by polychaetes (*Marphysa sanguinea*) inhabiting expanded polystyrene marine debris. *Marine Pollution Bulletin*. 131, 365–369. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.04.017
- Kavya, A.N.V.L., Sundarrajan, S. & Ramakrishna, S. (2020). Identification and characterization of micro-plastics in the marine environment: A mini review. *Marine Pollution Bulletin*. 160, 111704. DOI:10.1016/j.marpolbul.2020.111704
- Kooi, M. & Koelmans, A.A. (2019). Simplifying Microplastic via Continuous Probability Distributions for Size, Shape, and Density. *Environmental Science Technology Letters*. 6, 551–557. DOI: 10.1021/acs.estlett.9b00379
- Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch G., Schüttrumpf, H. (2020). The Way of Macroplastic through the Environment. *Environments*. 7, 73. DOI: 10.3390/environments7100073
- Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C.G., Della Torre, C., Parenti, C.C., Gorbi, S. & Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of the Total Environment*. 652:602-610. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.269

- Napper, I.E. & Thompson, R.C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibers from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*. 112:39–45. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.025
- Ngô, P.L., Pramanik, B.K., Shah, K. & Roychand, R. (2019). Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*. 225, (113326). DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113326
- Ou, H. & Zeng, E.Y. (2018). Occurrence and Fate of Microplastics in Wastewater Treatment Plants. In: Zeng, E.Y. (Ed.), *Microplastic Contamination in Aquatic Environments, An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, Ch. 10, pp. 317-338
- Perren, W., Wojtasik, A. & Cai, Q., (2018). Removal of Microbeads from Wastewater Using Electrocoagulation. *ACS Omega*. 3, 3357–3364. DOI: 10.1021/acsomega.7b02037
- Plastics– the Facts (2022). [En línea]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org>. Fecha de consulta: 19 de Noviembre del 2022.
- Ramírez-Álvarez, N., Mendoza, L. M. R., Macías-Zamora, J. V., Oregel-Vázquez, L., Álvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F. A., Sánchez-Osorio J. L., Moore C. J., Silva-Jiménez, H. & Navarro-Olache, L. F. (2020). Microplastics: Sources and Distribution in Surface Waters and Sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of The Total Environment*. 703, 134838. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.1348
- Reddy, A.S., Nair, A.T. (2022). The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102815. DOI: 10.1016/j.eti.2022.102815

- Ríos-Mendoza, L. M., Ontiveros-Cuadras, J. F., León-Vargas, D., Ruiz-Fernández, A. C., Rangel-García, M., Pérez-Bernal, L. H., & Sánchez-Cabeza, J.-A. (2021). Microplastic contamination and fluxes in a touristic area at the SE Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112638.
- Rochman, C.M., (2015). The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, pp. 117-140
- Shen, M., Zhang, Y., Almatrafi, E., Hu, T., Zhou, C., Song, B., Zeng, Z., Zeng, G. (2022). Efficient removal of microplastics from wastewater by an electrocoagulation process. *Chemical Engineering Journal*, 428, 1311161. DOI: 10.1016/j.cej.2021.131161
- Singh, S., Kalyanasundaram, M., Diwan, V. (2021). Removal of microplastics from wastewater: available techniques and way forward. *Water Science & Technology*. 84 (12), 3689. DOI: 10.2166/wst.2021.472
- Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D. & Shi, H. (2016). Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*. 216, 711–719. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.036
- Ungureanu, N., Vlăduț, V. & Paraschiv, G., (2019). Electrocoagulation in Wastewater Treatment. *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 49, 206-216
- Vuori, L., Ollikainen, M. (2022). How to remove microplastics in wastewater? A cost-effectiveness analysis. *Ecological Economics*, 192, 107246. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2021.107246

Yang, S., Zhou, M., Chen, X., Hu, L., Xu, Y., Fu, W., Li, C. (2022). A comparative review of microplastics in lake systems from different countries and regions. *Chemosphere*, 286, 131806. DOI:10.1016/j.chemosphere.2021.131806

Zhou, Y., He, G., Jiang, X., Yao, L., Ouyang, L., Liu, X., Liu, W. & Liu, Y. (2021). Microplastic contamination is ubiquitous in riparian soils and strongly related to elevation, precipitation and population density. *Journal of Hazardous Materials*, 411, 125178. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.125178.