

Microplásticos en Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Vertidos en Aguas Superficiales: Una Revisión Sistemática

Microplastics in Wastewater Treatment Plant Effluents Discharged into Surface Waters: Systematic Review

Ariana Johanna Javier-Quiroz¹ , Arleth Shantal Socola-Saldaña¹  & Mario Antonio Anaya-Raymundo¹ .

¹Universidad Católica Sedes Sapientiae Lima, Perú.

Autor corresponsal:

Ariana Johanna

Javier-Quiroz
2019100283@ucss.pe

Citar como:

Javier Quiroz, A. J., Socola Saldaña, A. S., & Anaya Raymundo, M. A. (2024). Microplásticos en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales vertidos en aguas superficiales: Una revisión sistemática. *Ambiente, Comportamiento Y Sociedad*, 7(1), 36 - 55.

<https://doi.org/10.51343/racs.v7i1.1417>

Recibido: 05 de julio 2024
Aceptado: 27 de noviembre 2024

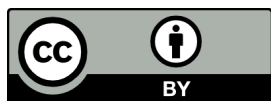
Resumen

La prevalencia del plástico impacta las fuentes de aguas superficiales, lo cual es visto a través de reportes de concentraciones de microplásticos (MPs) en efluentes finales de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs). El objetivo de la presente revisión fue analizar los niveles de concentración de MPs en estos efluentes alrededor del mundo, utilizando bases de datos como Springerlink, ScienceDirect y ACS Publications. Seleccionando 51 estudios publicados entre los años 2018 y 2023. Los más altos niveles de MPs en sus efluentes se encuentran en rangos de 49428 MPs/L a 182x10⁶ MPs/L. Aunque existen estudios en donde se cuantifica concentraciones <1 MPs/L, diferentes estudios de una misma región pueden variar las concentraciones desde rangos de 0.044 a 1030 MPs/L. Además, se mencionan factores potencialmente influyentes en estas concentraciones, como los procesos de las PTARs, las metodologías de estudio, las actividades realizadas en la región, y otros como el clima y densidad poblacional, que necesitan de más pruebas para demostrar su impacto. El 41% de los estudios recalcan que aún con cifras bajas de MPs en los efluentes, estas se vuelven significativas, por los altos volúmenes descargados continuamente por las PTARs considerándolos una vía de contaminación importante.

Palabras clave: emisiones ambientales, concentraciones de microplásticos, PTARs, nanoplásticos.

Abstract

The prevalence of plastic impacts surface water sources, which is seen through reports of concentrations of microplastics (MPs) in final effluents from Wastewater Treatment Plants (WWTPs). The objective of the present review was to analyze the concentration levels of MPs in these effluents around the world, using databases such as Springerlink, ScienceDirect and ACS Publications. Selecting 51 studies published between 2018 and 2023. The highest levels of MPs in their effluents are found in ranges from 49428 MPs/L to 182x 10⁶ MPs/L. Although, there are studies where concentrations <1 MPs/L are quantified, different studies of the same region can vary concentrations from ranges of 0.044 to 1030 MPs/L.



© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Ambiente, Comportamiento y Sociedad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

In addition, potentially influential factors in these concentrations are mentioned, such as WWTP processes, study methodologies, activities carried out in the region, and others such as climate and population density, which need more evidence to demonstrate their impact. 41% of the studies emphasize that even with low numbers of MPs in the effluents, these become significant, due to the high volumes continuously discharged by the WWTPs, considering them an important pollution route.

Keywords: environmental emissions, concentrations of microplastics, WWTPs, nanoplastics.

Introducción

En la actualidad el plástico está siendo reconocido como un problema global en constante crecimiento que afecta a todos los sistemas de aguas superficiales (Magni et al., 2019). El uso y la prevalencia del plástico se ha incrementado progresivamente con el paso del tiempo, volviéndose una opción conveniente por sus múltiples tipos de fabricación y su alta resistencia frente a la exposición en diversos entornos y condiciones ambientales. (Sun et al., 2019). Actualmente se utiliza en diversas áreas, teniendo una gran participación en la economía mundial (Alvim et al., 2020). Sin embargo, se ha vuelto una preocupación latente debido al potencial daño químico y físico que puede ocasionar en el medio en forma de Microplásticos (MPs), las cuales son partículas plásticas de menos de 5 mm con periodos de degradación de cientos de años (Magni et al., 2019).

Los MPs se transportan fácilmente por múltiples vías al medio ambiente, encontrándose en fuentes de agua y terminando en los mares con estimaciones de 12,7 millones de toneladas en los océanos (Wolff et al., 2019) explicando la alta distribución en estos ecosistemas y su capacidad para acumularse en ellos (Ben-David et al., 2021).

Las consecuencias de la presencia de plástico en medios acuáticos y sus diferentes formas de interacción con los organismos, son generalmente neutras o negativas (Schmidt et al., 2020). Los MPs son una amenaza en los organismos acuáticos como peces, moluscos, etc.; por su capacidad de acumulación y absorción en su organismo que contribuyen a la propagación de contaminantes (Sun et al., 2019). Estudios previos han demostrado que ciertos contaminantes orgánicos se adhieren a las partículas de MPs, estas partículas, al ser ingeridas por la biota acuática siendo confundidas con alimentos, liberan los contaminantes en el organismo que consumió el plástico (Wolff et al., 2019). Los daños que generan la ingestión de MPs en los organismos vivos de los ecosistemas acuáticos incluyen, daños físicos durante la ingestión, debido a la dificultad de movilidad en el tracto digestivo, obstruyéndolo en muchos casos; y daños químicos como estrés oxidativo, disrupción hepática, estrés endocrino, entre otros (Ben-David et al., 2021).

Cada año se generan 4.8 y 12.7 millones de toneladas de desechos plásticos debido a la contaminación originada por actividades que ocurren en la superficie terrestre (Schmidt et al., 2020) en lo particular las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) funcionan como colectoras de MPs de uso antrópico (Magni et al., 2019). Las PTARs reciben gran cantidad de MPs provenientes de aguas residuales domésticas, comerciales e industriales (Montecinos et al., 2022). Las cifras de materiales plásticos de los efluentes varían dependiendo de la PTAR, ya sea por el nivel de microplásticos en afluentes, la eficiencia de eliminación de los procesos (Ben-David et al., 2021) la región en donde se ubica la PTARs, el tamaño de la población atendida y el tipo de actividades industriales en las zonas (Montecinos et al., 2022).

Materiales y Métodos

Se realizó una investigación teórica sustentada en la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), considerando los criterios de inclusión y exclusión siguientes:

1) Artículos originales sobre concentración de microplásticos presentes en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, posteriormente descargados en aguas superficiales.

2) Para la selección de estudios pertinentes, se consultaron bases de datos científicas, como *ACS Publications*, *ScienceDirect* y *SpringerLink*, destacadas por la extensa cobertura en artículos científicos.

3) Para la identificación de los estudios se utilizó la cadena de búsqueda booleana: “microplastics”, “wastewater treatment plant effluents”, y “wastewater”. La selección de estudios se limitó a aquellos publicados en los últimos 5 años y escritos en idioma inglés.

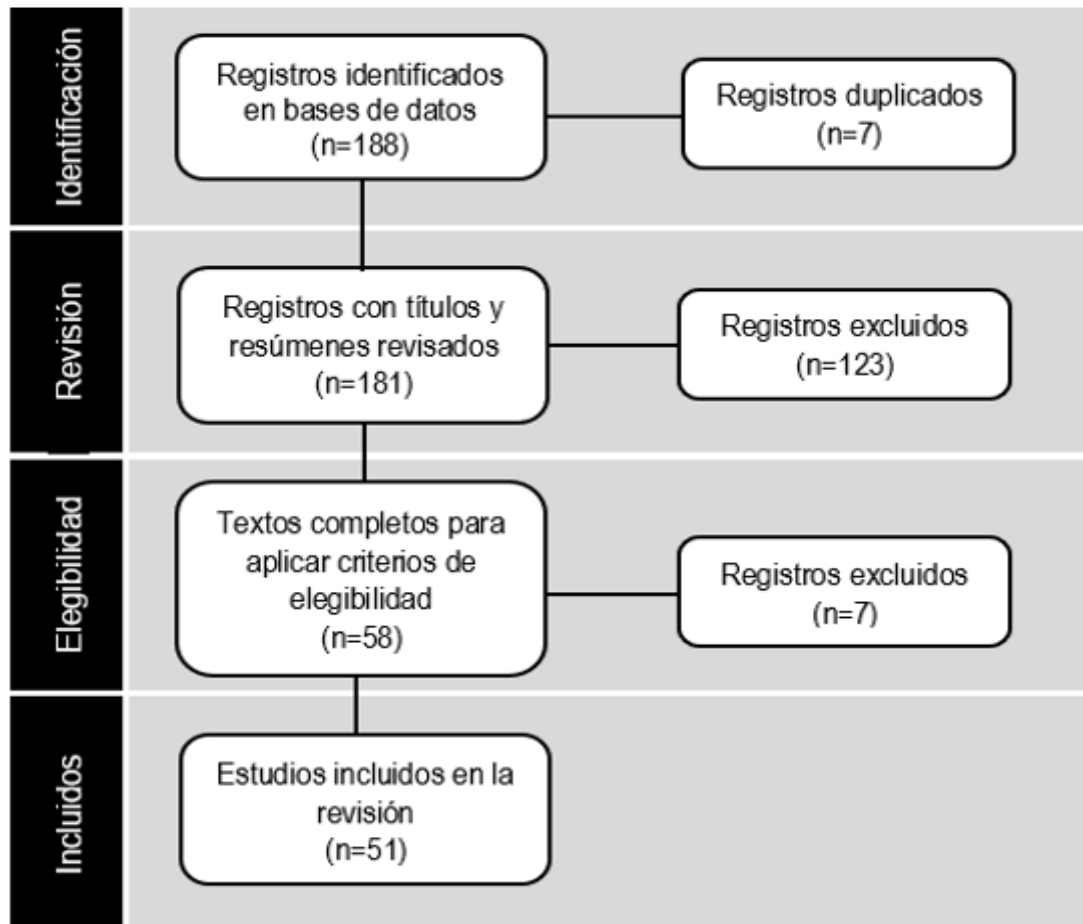
Los criterios de inclusión y exclusión fueron seleccionados con el fin de avalar la integridad del análisis. Los artículos incluidos fueron aquellos que proporcionaron mediciones precisas de las concentraciones de microplásticos (MPs) en los efluentes de las PTARs. Se excluyeron artículos cuyo acceso a la información eran incompletos, a fin de garantizar la fiabilidad de los resultados.

Se llevó a cabo una extracción sistemática de datos utilizando un formulario diseñado en MS Excel, considerando información referido a: ubicación geográfica del estudio, tipos de microplásticos, concentración de MPs en efluentes, diseño de investigación, metodología para identificación de MPs, tipo de agua superficial receptora del efluente, características estudiadas de los MPs, entre otras.

Desarrollo y Discusión

La búsqueda realizada en las diferentes bases de datos consultadas y vistas como considerables para el presente estudio fueron 188 registros excluyéndose por duplicados 7 registros. Se revisaron a nivel de títulos y resúmenes 181 artículos excluyéndose 123 registros que no evidencian de manera explícita los niveles de concentración de MPs en efluentes de PTARs (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo Prisma

Nota. En la figura, se detalla el proceso tomado de la metodología PRISMA.

De esta forma se identificaron 51 artículos entre los años de investigación 2018 y al 2023 para la revisión sistemática y análisis identificándose en primer lugar su información general (Tabla 1). Destacando el año 2020 con el 29% de los estudios, 2019 con 22% y el 2021 con el 20%.

Tabla 1*Información general de los Artículos analizados*

Nº	Referencia	Revista	Año	País	Base de datos
1	(Magni <i>et al.</i> , 2019)	Science of The Total Environment	2019	Italia	Science Direct
2	(Wolff <i>et al.</i> , 2019)	Water Research X	2019	Alemania	Science Direct
3	(Becuucci <i>et al.</i> , 2022)	Science of The Total Environment	2022	Italia	Science Direct
4	(Long <i>et al.</i> , 2019)	Water Research	2019	China	Science Direct
5	(Ben-David <i>et al.</i> , 2021)	Science of the Total Environmen	2021	Israel	Science Direct
6	(Schmidt <i>et al.</i> , 2020)	Science of The Total Environment	2020	Alemania	Science Direct
7	(Simon <i>et al.</i> , 2018)	Water Research	2018	Dinamarca	Science Direct
8	(Bayo <i>et al.</i> , 2020)	Chemosphere	2020	España	Science Direct
9	(Van Do <i>et al.</i> , 2022)	Environmental Technology & Innovación	2022	Vietnam	Science Direct
10	(Yang <i>et al.</i> , 2019)	Water Research	2019	China	Science Direct
11	(Conley <i>et al.</i> , 2019)	Water Research X	2019	Estados Unidos	Science Direct
12	(Raju <i>et al.</i> , 2020)	Water Research	2020	Australia	Science Direct
13	(Gies <i>et al.</i> , 2018)	Marine Pollution Bulletin	2018	Canadá	Science Direct
14	(Rajala <i>et al.</i> , 2020)	Water Research	2020	Finlandia	Science Direct
15	(Blair <i>et al.</i> , 2019)	Water Research	2019	Escocia	Science Direct
16	(Bitter <i>et al.</i> , 2022)	Water Research X	2022	Alemania	Science Direct
17	(Jiang <i>et al.</i> , 2020)	Science of The Total Environment	2020	China	Science Direct
18	(Bao <i>et al.</i> , 2022)	Journal of Cleaner Production	2022	China	Science Direct
19	(Takdastan <i>et al.</i> , 2021)	Journal of Environmental Management	2021	Irán	Science Direct
20	(Edo <i>et al.</i> , 2020)	Environmental Pollution	2020	España	Science Direct
21	(Park <i>et al.</i> , 2020)	Environmental Science and Technology	2020	Corea del Sur	ACS Publications
22	(Hidayaturrahman & Lee, 2019)	Marine Pollution Bulletin	2019	Corea del Sur	Science Direct
23	(Wang <i>et al.</i> , 2020)	Science of the Total Environment	2020	China	Science Direct
24	(Roscher <i>et al.</i> , 2022)	Science of The Total Environment	2022	Alemania	Science Direct
25	(Xu <i>et al.</i> , 2021)	Marine Pollution Bulletin	2021	China	Science Direct
26	(Vardar <i>et al.</i> , 2021)	Environmental Pollution	2021	Turquia	Science Direct
27	(Akarsu <i>et al.</i> , 2020)	Marine Pollution Bulletin	2020	Turquia	Science Direct

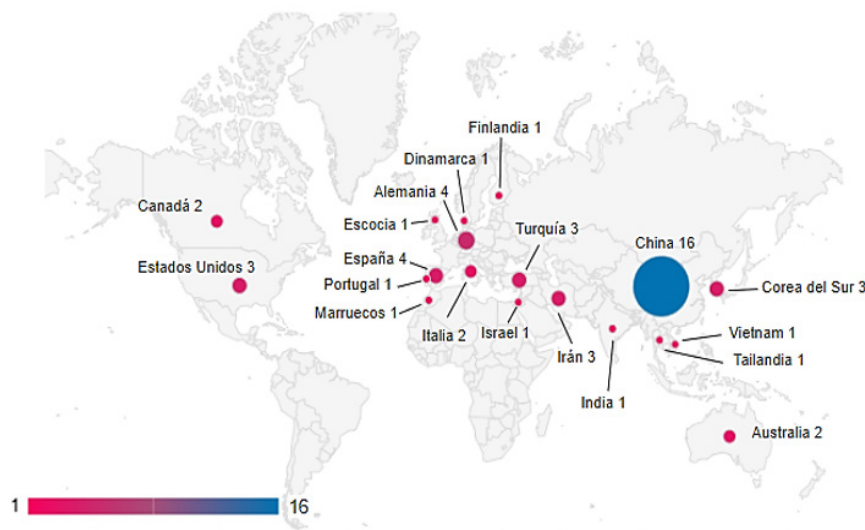
28	(Parashar & Hait, 2023)	Science of The Total Environment	2023	India	Science Direct
29	(Lv <i>et al.</i> , 2019)	Journal of Cleaner Production	2019	China	Science Direct
30	(Yang <i>et al.</i> , 2021)	Science of The Total Environment	2021	China	Science Direct
31	(Jiang <i>et al.</i> , 2022)	Science of The Total Environment	2020	Turquia	Science Direct
32	(Prata <i>et al.</i> , 2021)	Science of The Total Environment	2021	Portugal	Science Direct
33	(Akdemir & Gedik, 2023)	Environmental Research	2023	Turquia	Science Direct
34	(Wang <i>et al.</i> , 2020)	Science of The Total Environment	2020	China	Science Direct
35	(Fortin <i>et al.</i> , 2019)	Marine Pollution Bulletin	2019	Estados Unidos	Science Direct
36	(Liu <i>et al.</i> , 2019)	Chemical Engineering Journal	2019	China	Science Direct
37	(Hajji <i>et al.</i> , 2023)	Science of The Total Environment	2023	África	Science Direct
38	(Prajapati <i>et al.</i> , 2021)	Environmental Science and Pollution Research	2020	Canadá	SpringerLink
39	(Xu <i>et al.</i> , 2023)	Environmental Science & Technology	2023	China	ACS Publications
40	(Wu <i>et al.</i> , 2023)	ACS ES&T Water	2023	China	ACS Publications
41	(Franco <i>et al.</i> , 2021)	Science of The Total Environment	2021	España	Science Direct
42	(Lee & Kim, 2018)	Marine Pollution Bulletin	2018	Corea del Sur	Science Direct
43	(Tang <i>et al.</i> , 2020)	Science of the Total Environment	2020	China	Science Direct
44	(Gao <i>et al.</i> , 2022)	Journal of Environmental Chemical Engineering	2022	Estados Unidos	Science Direct
45	(Naji <i>et al.</i> , 2021)	Chemosphere	2021	Irán	Science Direct
46	(Alavian Petroody <i>et al.</i> , 2020)	Chemosphere	2020	Irán	Science Direct
47	(Kankanige & Babel, 2021)	Journal of Water Process Engineering	2021	Tailandia	Science Direct
48	(Zhang <i>et al.</i> , 2021)	Journal of Cleaner Production	2021	China	Science Direct
49	(Ziajahromi <i>et al.</i> , 2021)	Chemosphere	2020	Australia	Science Direct
50	(Wang <i>et al.</i> , 2020)	Water Research	2020	China	Science Direct
51	(Xu <i>et al.</i> , 2019)	Science of The Total Environment	2019	China	Science Direct

Todos los estudios comprenden diseños de investigación no experimentales, debido a que brindan información de muestras sin ningún tipo de experimentación adicional siendo descriptivos correlacionales, teniendo un análisis cuantitativo porque dan información numérica al enfoque de las concentraciones de MPs y cualitativo, debido a que mencionan características como fuente color forma como características de los MPs.

Los estudios se llevaron a cabo en total en 19 países teniendo alrededor el 42% de investigaciones llevadas en Asia, 37% en Europa, que destacan como los más representativos. Finalmente, con un 5% en el continente africano y Oceanía siendo Marruecos y Australia los únicos países con estudios relacionados a los niveles de MPs en efluentes de PTARs (Figura 2).

Figura 2

Distribución de estudios según país de publicación



Nota. Tal como se aprecia en la figura, se muestra la cantidad de artículos considerados por país en la presente revisión.

El 47% de los estudios comprenden cálculos de concentraciones de MPs en efluentes de una sola PTAR en el lugar estudiado, el 53% de estudios nos detalla información de concentraciones de microplásticos en un número mayor a dos PTARs en la región para la comparación de concentraciones entre PTARs (Tabla 2).

Tabla 2

Resultados de concentraciones de microplásticos en efluentes de PTAR

Continente	País	Concentración	Unidad de medida	Referencia
África	Marruecos	50-86	MPs/L	(Hajji et al., 2023)
América	Canadá	0.22-0.5	MP/L	(Gies et al., 2018; Prajapati et al., 2021)
	USA	3.7-49428	MP/L	(Conley et al., 2019; Gao et al., 2022; Fortin et al., 2019)
Asia	China	0.71 -1.75	µg/L	(Xu et al., 2023)
		0.028-0.168	mg/L	(Lv et al., 2019)
		0.07-1030	Ítems/L	(Long , et al., 2019; Zhang, Liu, Xie, Zhong , & Gao, 2021; Bao, y otros, 2022; Yang, et al., 2019; Wu, y otros, 2023; Yang, et al., 2021; Tang, Liu, & Xing, 2020; Liu, Yuan, Di, Li, & Wang, 2019; Xu , Jian, Xue, Hou, & Wang, 2019; Xu, y otros, 2021)
	Corea del Sur	0.004-297	MP/L	(Jiang et al., 2022; Wang et al., 2020; Wang et al., 2020; Wang et al., 2020)
	India	3-22	n/L	(Lee y Kim, 2018; Park et al., 2020; Hidayaturrehman y Lee, 2019)
	Irán	0.84-70.66	MP/L	(Parashar y Hait, 2023)
		423	MP/m ³	(Takdastan et al., 2021; Naji et al., 2021)
	Israel	1.97	Mp/L	(Alavian et al., 2020)
	Tailandia	609.1	P/l	(Ben-David et al., 2021)
	Turquía	0.6-76.25	partículas/L	(Kankanige & Babel, 2021)
Europa	Vietnam	151-309	partículas/L	(Akarsu et al., 2020; Akdemir & Gedik, 2023; Vardar et al., 2021)
	Alemania	0.1-19.6	µg L-1	(Van Do et al., 2022)
		88-29000	MP m-3	(Bitter et al., 2022)
	Dinamarca	54	ítem/L	(Roscher et al., 2022; Schmidt et al., 2020; Wolff et al., 2019)
	Escocia	<1-3	MP L ⁻¹	(Simon et al., 2018)
	España	0.31-131.35	MP/L	(Blair et al., 2019)
	Finlandia	50x 10 ⁶ -182 x 10 ⁶	MP/L	(Bayo et al., 2020; Edo et al., 2020; Franco et al., 2021)
	Italia	0.4-5	MPs/L	(Rajala et al., 2020)
	Portugal	231	MP L ⁻¹	(Becucci et al., 2022; Magni et al., 2019)
	Oceania	Australia	0.18-2.76	MP/L
				(Raju et al., 2020; Ziajahromi et al., 2021)

Se identificó que el país con los niveles más altos de concentración de microplásticos son Finlandia, con un rango máximo de concentración de 182 x 10⁶ Partícula/L (Rajala et al., 2020) seguido de Estados Unidos, con concentraciones máximas de 1058 - 49428 MPs/L (Conley et al., 2019; Fortin et al., 2019; Gao et al., 2022).

Existen países en donde se cuantifican concentraciones <1 MPs/L como en Canadá donde se tiene una concentración de 0.22-0.5 MP/L (Gies et al., 2018; Prajapati et al., 2021). Otros estudios evidencian concentraciones moderadamente altas como Portugal y Vietnam y Tailandia (Prata et al., 2021; Kankanige & Babel, 2021; Van Do et al., 2022).

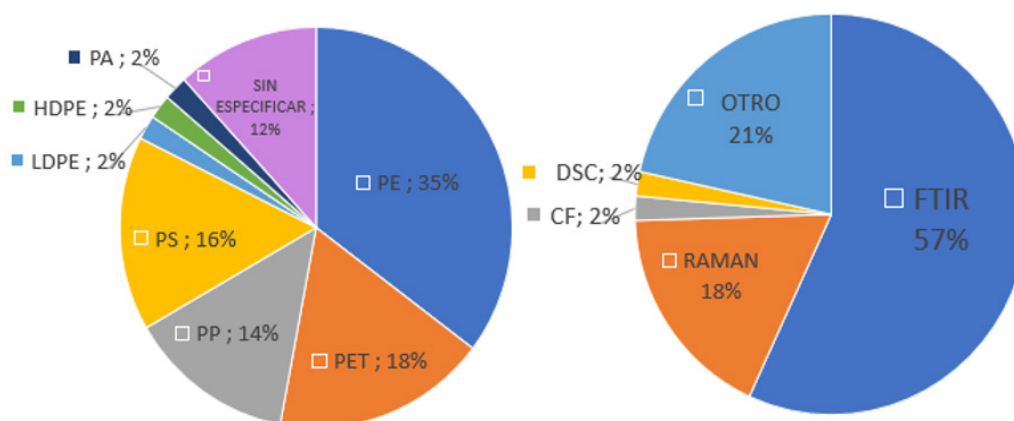
Según lo analizado se evidencia que las concentraciones varían según cual sea la región del país estudiado, los resultados pueden ser concentraciones moderadamente altas como también concentraciones bajas, estas oscilaron de entre 0.044 a 1030 MPs/L que incluye a Irán, China, Corea del Sur y España (Lee y Kim, 2018; Park et al., 2020; Hidayaturrahman y Lee, 2019; Naji et al., 2021; Bayo et al., 2020; Edo et al., 2020; Tang et al., 2020; Franco et al., 2021; Liu et al., 2019).

Los estudios reportan la concentración de microplásticos con diversas unidades de medida, siendo mayoritario el término MPs por litro (MPs/L) (Conley et al., 2019; Gao et al., 2022; Gies et al., 2018; Prajapati et al., 2021) haciendo referencia similar; se expresa también como ítems por litro (ítems/ L) (Long et al., 2019; Wang et al., 2020; Yang et al., 2019; Zhang et al., 2021) y partículas/L (p/L) (Akarsu et al., 2020; Jiang et al., 2022; Van Do et al., 2022). De igual manera expresan sus resultados en mg/L considerando su carga másica (Lv et al., 2019), como también en ug/L (Bitter et al., 2022; Xu et al., 2023).

Respecto a los tipos polímeros de los MPs presentes en los efluentes de las PTARs, se incluyen el PE (Polietileno), PS (Poliestireno), PP (Polipropileno), PET (Tereftalato de polietileno), PA (Poliamidas), PVC (Cloruro de Polivinilo), HDPE (Polietileno de alta densidad), LDPE (Polietileno de baja densidad) y otros sin especificar. Siendo el tipo de polímero más predominante el polietileno. Además, la metodología para la identificación de los MP se dio en dos formas: para la identificación visual de las características de MPs con diferentes tipos de microscopio óptico y para la identificación de la naturaleza del tipo de polímero de los MPs fue por medio de espectrometría de FTIR y Raman, complementados por técnicas combinadas de fotocalorimetría DSC y CF (Figura 3).

Figura 3

Metodologías utilizadas para el análisis de concentración de MPs en efluentes de PTAR y tipo de MPs más representativos

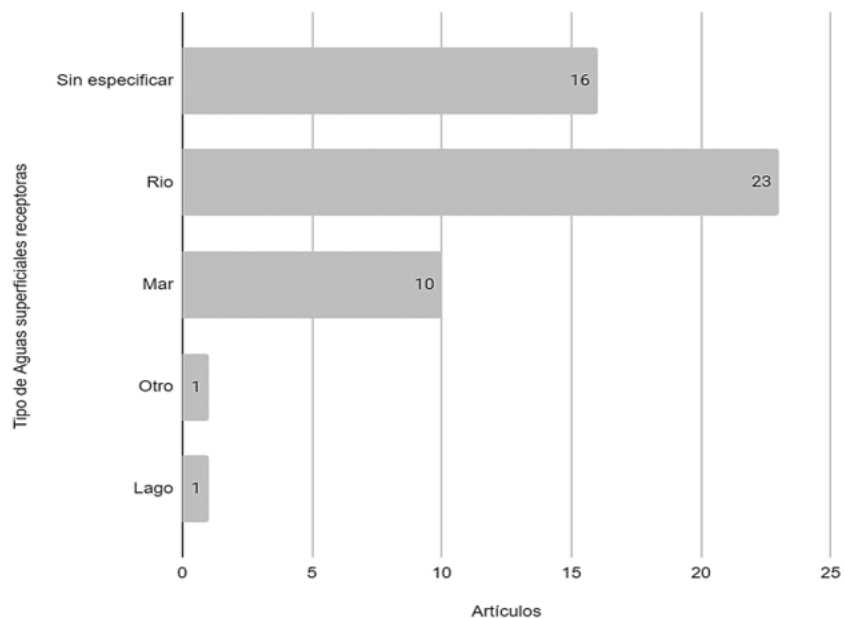


Nota. Se cuantifica en porcentajes las metodologías utilizadas en el total de artículos revisados, así como los tipos de MPs más representativos.

En cuanto al tipo de aguas superficiales en donde son descargados los diferentes efluentes variaron en (20%) mar, (45%) ríos o aguas dulces y un (31%) de artículos no especificaron la clase de aguas superficiales receptoras. (Figura 4)

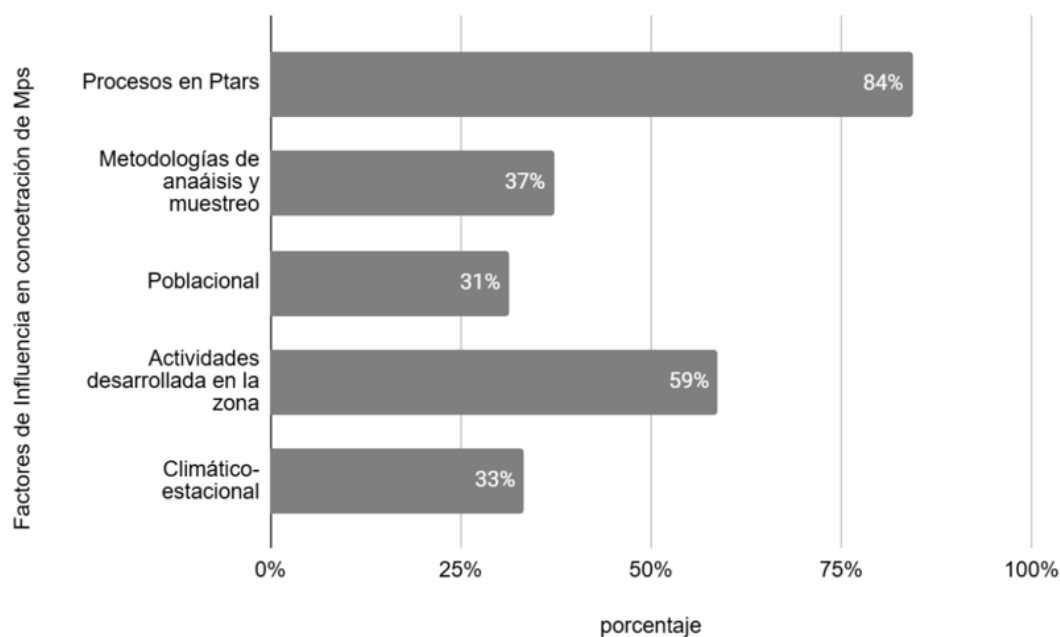
Figura 4

Recuento de tipo de aguas superficiales receptoras de efluentes de PTAR



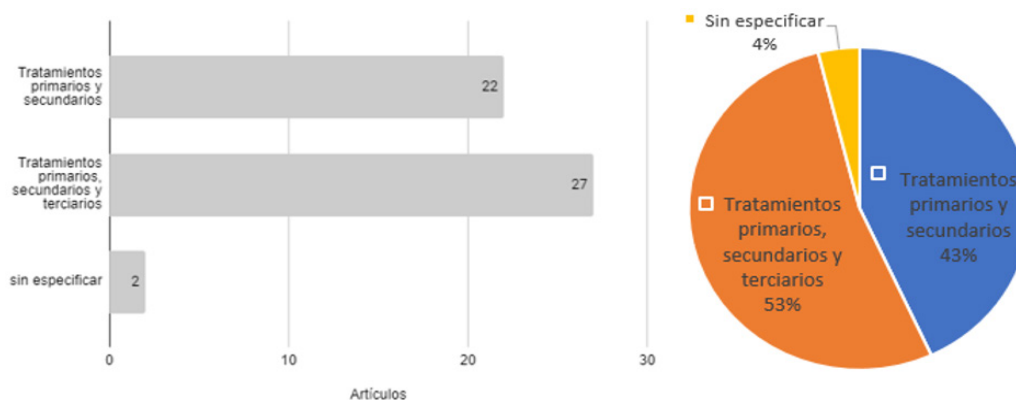
Nota. Conteo de los principales tipos de agua superficiales donde se hace llegar los diferentes efluentes de las PTARs estudiadas en los diferentes artículos revisados.

Múltiples factores afectan la concentración de MPs en los efluentes, como los procesos empleados en el tratamiento de las PTARs, las diferentes metodologías de técnicas de muestreo y análisis de MPs; y aquellos que tienen una influencia indirecta pero aun así considerados en la concentración final de MPs en efluentes, como factores externos que inciden en los afluentes, siendo uno de estos la población circundante, las actividades desarrolladas en la zona, así como también los factores climáticos y estacionales (Conley et al., 2019; Gao et al., 2022; Jiang et al., 2020; Zhang et al., 2021). Se consideró tomar en cuenta los factores influyentes ya que son reiteradamente mencionados en una gran cantidad de artículos (Figura 4).

Figura 4*Factores influyentes en la concentración final de MPs*

Nota. Tal como se aprecia en la figura, se detalla en porcentajes la mención de factores de influencia en el total de artículos, considerándose la posibilidad de encontrar en su mención uno o más factores.

En los artículos analizados se estudia la relación de eliminación de MPs y los distintos procesos en las PTARs, su influencia en las concentraciones finales de MPs (Long , et al., 2019; Wu, y otros, 2023; Xu, y otros, 2021; Yang, et al., 2021). Es así como se expone, que los procesos en donde la eliminación de MPs es mayor, son los tratamientos primario y secundario (Yang, et al., 2021). Con respecto al total de artículos, un gran número de las PTARs estudiadas emplean los tratamientos primarios, secundarios y terciarios (Figura 5). Se debe considerar que los tratamientos primario, secundario y terciario son etapas clave en el proceso de depuración de aguas residuales. El tratamiento primario se centra en la eliminación física de sólidos suspendidos mediante sedimentación. El tratamiento secundario utiliza procesos biológicos para degradar materia orgánica y reducir contaminantes disueltos. Finalmente, el tratamiento terciario es una etapa avanzada diseñada para eliminar contaminantes específicos y mejorar la calidad del agua. Según Yang et al. (2021), la eliminación de microplásticos (MPs) es más eficiente en los tratamientos primario y secundario, con tasas de reducción de 62,4% y 24,4%, respectivamente, en comparación con el tratamiento terciario, que alcanza solo un 24,2% de eficiencia.

Figura 5*Procesos de tratamiento de aguas residuales en las PTARs estudiadas*

Nota. Tal como se aprecia en la figura, se cuantifica y detallan los procesos utilizados en el total de artículos revisados.

Las propiedades de los MPs pueden impactar en el porcentaje de eliminación de las PTARs, un ejemplo de ello es el tamaño, partículas de 43-63 μm tienen una tasa de eliminación de casi 96%, mientras que una de 125-355 μm o más, tienen un porcentaje menor; en el caso de la densidad, las partículas de MP con mayor densidad, se sedimentan con facilidad, mientras que las de menor densidad logran mantenerse suspendidos (Long et al., 2019).

Se expone también, que la concentración final de MPs puede variar debido a los distintos tipos de metodología utilizadas en los estudios para su análisis (Fortin et al., 2019; Gies et al., 2018; Hajji et al., 2023; Jiang et al., 2020). Los múltiples tipos de muestreo impactan en la cuantificación de MP en muestras de aguas residuales (Jiang et al., 2020). Una muestra de agarre puede tener un efecto notable en esta cuantificación, mientras que una estrategia de muestreo mixto ofrece datos fidedignos (Hajji et al., 2023). Además, durante la extracción en campo y posterior transferencia a laboratorio, puede llevar a una subestimación en el conteo de MPs (Gies et al., 2018).

Al evaluar los métodos utilizados para la cuantificación de MPs en efluentes de PTARs se evidencia el predominante uso del análisis por espectroscopía a comparación del uso de identificación visual, este último es complementado con estudios de espectrometría debido a su poca fiabilidad y errores en la cuantificación (Ben-David et al., 2021; Wolff et al., 2019). La espectrometría Transformada de Fourier Infrarroja (FTIR) tiene un límite de detección teórico de 10 μm y la micro espectroscopía Raman permite la identificación de partículas más pequeñas sin embargo, es más tardada (Fortin et al., 2019; Wolff et al., 2019) y presenta errores detectables de identificación por colorimetría, donde las partículas de color negro y amarillo pueden ser incorrectamente identificadas como MPs a simple vista (Long et al., 2019).

El análisis FTIR muestra predominancia en los artículos estudiados frente al análisis Raman esto podría deberse a los errores ya mencionados, sin embargo, este último al identificar partículas más pequeñas, que son las más abundantes y a su vez las menos estudiadas (Blair et al., 2019; Fortin et al., 2019), podría afectar el panorama que se tiene sobre cantidad de MPs en PTARs.

La gran variación de metodologías en las diferentes fases del análisis de MPs dificulta la comparación de resultados y se concuerda con la imprescindible estandarización de métodos para el análisis de MPs para unificar factores de influencia vistos anteriormente (Hajji et al., 2023; Magni et al., 2019; Wolff et al., 2019).

La influencia de las actividades que se desarrollan en la región se denota en los niveles de MPs en efluentes de PTARs. (Hajji et al., 2023; Roscher et al., 2022; Wolff et al., 2019). El PE, el PP y el PS son los polímeros más consumidos en China, por ende, se asume que la distribución de los polímeros en sus PTARs refleja el consumo de plásticos de la región (Long et al., 2019). Además este factor condiciona la cantidad de tipos de polímeros de MPs en efluentes, con cierto impacto en las forma de MPs, viéndose la presencia mayoritaria de fibras de MPs en regiones ricas en aguas residuales domésticas, que pueden derivar de productos de lavado de ropa o de aguas residuales de la industria textil (Ben-David et al., 2021; Jiang et al., 2020; Liu et al., 2019; Lv et al., 2019; Tang et al., 2020; Xu et al., 2023).

Existen otros factores influyentes analizados que necesitan mayores estudios para comprobar esta relación, como el factor de densidad poblacional y el climático (Gao et al., 2022; Hajji et al., 2023; Magni et al., 2019). Estudios realizados en Alemania que muestrearon la emisión MPs de efluentes de PTARs en distintas cuencas; una de ellas en el río Rin, que cuenta con mayor densidad poblacional, muestra los más altos niveles de MPs, afirmando una posible relación de concentraciones de MPs y la población de la región (Schmidt et al., 2020). Sin embargo, estudios realizados en China exponen la falta de pruebas que sugieran una relación entre los factores ya mencionados (Long et al., 2019). Con lo que respecta al factor climático, un estudio reflejó que durante condiciones de lluvia se observa una mayor presencia de fibras y partículas de MPs, los resultados contenían 4500 partículas de MPs/m³ y 1500 fibras de MPs/m³, por otro lado, en climas secos presentaban cantidades menores de MPs (Wolff et al., 2019). En contraste, estudios en PTARs de EE.UU. que analizan la eficiencia de remoción anual de MPs, afirman que no se pudieron identificar tendencias estacionales en las concentraciones de microplásticos en las aguas residuales crudas (Conley et al., 2019).

Además de los factores influyentes vistos previamente, el 41% de estudios mencionan de manera reiterada la contaminación que aportan los efluentes de la PTAR debido a las cifras elevadas de MPs (Alavian et al., 2020; Naji et al., 2021; Prajapati et al., 2021; Van Do et al., 2022). Si bien los niveles de concentración de MPs encontradas en los artículos pueden reflejar concentraciones <1 MPs/L (Gies et al., 2018; Long et al., 2019; Lv et al., 2019; Prajapati et al., 2021) siendo una concentración de partículas bajas, esta se vuelve significativa cuando se toma en cuenta los volúmenes de agua que son liberados a los ecosistemas acuáticos de manera continua (Hidayaturrahman y Lee, 2019; Gao et al., 2022; Yang et al., 2019). En Carolina del Norte, una PTAR cuyo efluente oscila entre 3.7 – 17.6 MPs/L puede generar de 500-1000 millones de MP por día (Conley et al., 2019).

Conclusiones

En la presente revisión sistemática se pudo analizar y reunir los distintos niveles de concentraciones de MPs en efluentes de PTARs a nivel mundial, se encuentran altas concentraciones de MPs en rangos de 49428 MPs/L a 182x106 MPs/L. Aunque existen estudios en donde se cuantifica concentraciones <1 MPs/L, diferentes estudios de una misma región pueden variar las concentraciones desde rangos de 0.044 a 1030 MPs/L. Del total de artículos los tipos de polímero más abundantes son el Polietileno (PE), el tereftalato de polietileno (PET), Poliestireno (PS) y Polipropileno (PP). La descarga de estas partículas llega directamente a ríos en un 45 % de estudios y mares en un 19%. Para el análisis de estas partículas de MPs las metodologías más utilizadas fueron la FTIR utilizada en un 57% de artículos y Raman en un 18%. Si bien no se proporcionan razones puntuales de las distintas concentraciones, se expresan distintos y posibles factores que pueden determinar o influir en los niveles de concentración final de MPs como los procesos y tecnologías usadas en el tratamiento de aguas residuales, obteniéndose variadas concentraciones de MPs.

Además, se ha podido reunir información en donde se menciona la influencia de factores externos como la población y sus distintas actividades, ya sea usos y preferencias de productos, empresas cercanas a la PTAR como las industrias textiles, que aportan un alto contenido de fibras sintéticas, además de factores climáticos, metodologías utilizadas en la recolección de muestras que pueden afectar los resultados de las concentraciones de MPs, entre otros. Cabe resaltar que, según los artículos, estos efluentes son una vía importante de contaminación debido a los volúmenes de descarga continuas hacia aguas superficiales.

Declaración de Conflicto de Intereses

Los autores declaran con respecto al documento, no tener conflicto de intereses financieros ni personales que puedan influir inapropiadamente en el desarrollo de este artículo.

Referencias

- Akarsu , C., Kumbur , H., Gökdağ , K., Kıdeys, A. E., & Sanchez-VidaL, A. (2020). Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110776>
- Akdemir, T., & Gedik, K. (2023). Microplastic emission trends in Turkish primary and secondary municipal wastewater treatment plant effluents discharged into the Sea of Marmara and Black Sea. *Environmental Research*, 231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116188>
- Alavian, S. S., Hossein , S., & van Gestel, C. A. (2020). Factors affecting microplastic retention and emission by a wastewater treatment plant on the southern coast of Caspian Sea. *Chemosphere*, 261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128179>
- Alvim, C. B., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Pía, A. (2020). Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques. *Journal of Environmental Management*, 255. 109893. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109893>
- Bao, R., Wang , Z., Qi , H., Mehmood, T., Cai, M., Zhang , Y., . . . Liu, F. (2022). Occurrence and distribution of microplastics in wastewater treatment plant in a tropical region of China. *Journal of Cleaner Production*, 349. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131454>
- Bayo, J., Olmos, S., & López-Castellano, J. (2020). Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factor. *Chemosphere*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124593>
- Becucci, M., Mancini , M., Campo, R., & Paris, E. (2022). Microplastics in the Florence wastewater treatment plant studied by a continuous sampling method and Raman spectroscopy: A preliminary investigation. *Science of The Total Environment*, 808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152025>
- Ben-David, E. A., Habibi, M., Haddad, E., Hasanin, M., Angel, D. D., Booth, A. M., & Sabbah, I. (2021). Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of. *Science of the Total Environment*, 752, 141880. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141880>
- Bitter, H., Krause, L., Kirche, F., Fundneider, T., & Lackner, S. (2022). Semi-crystalline microplastics in wastewater plant effluents and removal efficiencies of post-treatment filtration systems. *Water Research X*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2022.100156>

- Blair , R. M., Waldron , S., & Gauchotte-Lindsay, C. (2019). Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. *Water Research*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114909>
- Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane , H., & Beckingham , B. (2019). Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100030>
- Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837>
- Fortin , S., Song , B., & Chris , B. (2019). Quantifying and identifying microplastics in the effluent of advanced wastewater treatment systems using Raman microspectroscopy. *Marine Pollution Bulletin*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110579>
- Franco, A. A., Arellano, J. M., Albendín , G., Rodríguez-Barroso, R., Quiroga, J. M., & Coello, M. D. (2021). Microplastic pollution in wastewater treatment plants in the city of Cádiz: Abundance, removal efficiency and presence in receiving water body. *Science of The Total Environment*, 776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145795>
- Gao, Z., Wontor, K., Cizdziel, J. V., & Vianello, A. (2022). Spatiotemporal characteristics of microplastics in a university wastewater treatment plant: Influence of sudden on-campus population swings. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108834>
- Gies , E. A., LeNoble, J. L., Noel, M., Etemadifar, A., Bishay , F., Hal, E. R., & Ross, P. S. (2018). Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 553-561. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.006>
- Hajji, S., Ben-Haddad , M., Rida Abelouah, M., De-la-Torre, G. E., & Ait Alla , A. (2023). Occurrence, characteristics, and removal of microplastics in wastewater treatment plants located on the Moroccan Atlantic: The case of Agadir metropolis. *Science of The Total Environment*, 862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160815>
- Hidayaturrahman, H., & Lee, T.-G. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 696-702. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.071>

- Jiang, J., Wang, X., Ren, H., Cao, G., Xie, G., Xing, D., & Liu, B. (2020). Investigation and fate of microplastics in wastewater and sludge filter cake from a wastewater treatment plant in China. *Science of The Total Environment*, 746. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141378>
- Jiang, L., Chen, M., Huang, Y., Peng, J., Zhao, J., Chan, F., & Yu, X. (2022). Effects of different treatment processes in four municipal wastewater treatment plants on the transport and fate of microplastics. *Science of The Total Environment*, 831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154946>
- Kankanige, D., & Babel, S. (2021). Contamination by $\geq 6.5 \mu\text{m}$ -sized microplastics and their removability in a conventional water treatment plant (WTP) in Thailand. *Journal of Water Process Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101765>
- Lee, H., & Kim, Y. (2018). Treatment characteristics of microplastics at biological sewage treatment facilities in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.050>
- Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., & Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chemical Engineering Journal*, 362, 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.033>
- Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Jin, X., . . . Chen, H. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Research*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028>
- Lv, X., Dong, Q., Zuo, Z., Liu, Y., Huang, X., & Wu, W.-M. (2019). Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: Fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies. *Journal of Cleaner Production*, 225, 579-586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.321>
- Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Torre, C. D., Parenti, C. C., . . . Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of The Total Environment*, 652, 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269>
- Montecinos, S., Gil, M., Tognana, S., Salgueiro, W., & Amalvy, J. (2022). Distribution of microplastics present in a stream that receives discharge from wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, 314.
- Naji, A., Azadkhan, S., Farahani, H., Uddin, S., & Khan, F. R. (2021). Microplastics in wastewater outlets of Bandar Abbas city (Iran): A potential point source of microplastics into the Persian Gulf. *Chemosphere*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128039>

- Parashar, N., & Hait, S. (2023). Abundance, characterization, and removal of microplastics in different technology-based sewage treatment plants discharging into the middle stretch of the Ganga River, India. *Science of The Total Environment*, 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167099>
- Park, H.-J., Oh, M.-J., Kim, P.-G., Kim, G., Jeong, D.-H., Ju, B.-K., . . . Kwon, J.-H. (2020). National Reconnaissance Survey of Microplastics in Municipal Wastewater Treatment Plants in Korea. *Environmental Science & Technology*, 1503-1512. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04929>
- Prajapati, S., Beal, M., Maley, J., & Brinkmann, M. (2021). Qualitative and quantitative analysis of microplastics and microfiber contamination in effluents of the City of Saskatoon wastewater treatment plant. *Environmental Science and Pollution Research*, 32545-32553. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12898-7>
- Prata , J. C., Godoy , V., da Costa, J. P., Calero, M., Martín-Lara , M. A., Duarte , A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). Microplastics and fibers from three areas under different anthropogenic pressures in Douro river. *Science of The Total Environment*, 776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145999>
- Rajala, K., Grönfors, O., Hesampour , M., & Mikola, A. (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water Research*, 183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116045>
- Raju, S., Carbery, M., Kuttykattil, A., Senthirajah, K., Lundmark, A., Rogers , Z., . . . Palanisami , T. (2020). Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant. *Water Research*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115549>
- Roscher, L., Halbach, M., Trang Nguyen, M., Hebler, M., Luschtinetz, F., Scholz-Böttcher, B. M., . . . Gerdts, G. (2022). Microplastics in two German wastewater treatment plants: Year-long effluent analysis with FTIR and Py-GC/MS. *Science of The Total Environment*, 817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152619>
- Schmidt, C., Kumar, R., Soohyun, Y., & Buttner, O. (2020). Microplastic particle emission from wastewater treatment plant effluents into river networks in Germany: Loads, spatial patterns of. (H. Hollert, Ed.) *Science of the Total Environment*, 737, 139544. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139544>
- Simon, M., Alst, N., & Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 1-9.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C., & Ni, B.-J. (2019, April 1). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Science of The Total Environment*, 694, 1014-1026.

- Takdastan , A., Niari , M. H., Babaei, A., Dobaradaran, S., Jorfi , S., & Ahmadi, M. (2021). Occurrence and distribution of microplastic particles and the concentration of Di 2-ethyl hexyl phthalate (DEHP) in microplastics and wastewater in the wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Management*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111851>
- Tang, N., Liu, X., & Xing, W. (2020). Microplastics in wastewater treatment plants of Wuhan, Central China: Abundance, removal, and potential source in household wastewater. *Science of The Total Environment*, 745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141026>
- Van Do, M., Thanh Le , T., Dinh Vu , N., & Thi Dang, T. (2022). Distribution and occurrence of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Technology & Innovation*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102286>
- Vardar, S., Onay, T. T., Demirel , B., & Kideys, A. E. (2021). Evaluation of microplastics removal efficiency at a wastewater treatment plant discharging to the Sea of Marmara. *Environmental Pollution*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117862>
- Wang , C., Xing , R., Sun, M., Ling, W., Shi, W., Cui, S., & An, L. (2020). Microplastics profile in a typical urban river in Beijing. *Science of The Total Environment*, 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140708>
- Wang , R., Ji, M., Zhai , H., & Liu, Y. (2020). Occurrence of phthalate esters and microplastics in urban secondary effluents, receiving water bodies and reclaimed water treatment processes. *Science of The Total Environment*, 737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140219>
- Wang, F., Wang, B., Duan, L., Zhang, Y., Zhou, Y., Sui, Q., . . . Yu, G. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in domestic, industrial, agricultural and aquacultural wastewater sources: A case study in Changzhou, China. *Water Research*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115956>
- Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., & Müller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Research X*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.100014>
- Wu, P., Wang, B., Lu, Y., Cao, G., Xie, P., Wang, W., . . . Cai, Z. (2023). Machine Learning-Assisted Insights into Sources and Fate of Microplastics in Wastewater Treatment Plants. *ACS EST Water*, 1107–1118. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00386>
- Xu , X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., & Wang, L. (2019). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, 235, 1089-1096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.197>

- Xu, X., Zhang, L., Jian, Y., Xue, Y., Gao, Y., Peng, M., . . . Zhang, Q. (2021). Influence of wastewater treatment process on pollution characteristics and fate of microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112448>
- Xu, Y., Ou, Q., Wang, X., Hou, F., Li, P., van der Hoek, J. P., & Liu, G. (2023). Assessing the mass concentration of microplastics and nanoplastics in wastewater treatment plants by pyrolysis gas chromatography–mass spectrometry. *Environmental Science & Technology*, 3114–3123. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07810>
- Yang, Li, K., Cui, S., Kang, Y., An, L., & Lei, K. (2019). Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant. *Water Research*, 155, 175-181. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.046>
- Yang, Li, S., Ma, S., Liu, P., Peng, D., Ouyang, Z., & Guo, X. (2021). Characteristics and removal efficiency of microplastics in sewage treatment plant of Xi'an City, northwest China. *Science of The Total Environment*, 771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145377>
- Zhang, L., Liu, J., Xie, Y., Zhong, S., & Gao, P. (2021). Occurrence and removal of microplastics from wastewater treatment plants in a typical tourist city in China. *Journal of Cleaner Production*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125968>
- Ziajahromi, S., Neale, P. A., Telles Silveira, I., Chua, A., & Leusch, F. D. (2021). An audit of microplastic abundance throughout three Australian wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128294>