

# Microplásticos en el medio ambiente y separadores ciclónicos como alternativa de mitigación. Una revisión

Cecilia Ortiz-Alvarez <sup>1</sup>, Esperanza Rodríguez-Morales <sup>1,\*</sup>, Osvaldo Rubio-López <sup>2</sup> Ana Laura Martínez-Hernández <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ingeniería, Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro, Querétaro, Querétaro, México

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería y Desarrollo Tecnológico, Universidad Politécnica de Querétaro

\* Autor de correspondencia: [esperanza.rm@queretaro.tecnm.mx](mailto:esperanza.rm@queretaro.tecnm.mx)

**Contaminación de agua, suelo y aire** (Tratamiento de aguas residuales)

Recibido: 13 de junio de 2025

Aceptado: 21 de julio de 2025

Publicado: 29 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.505>

**Resumen:** La contaminación por microplásticos, hoy en día, es una problemática a nivel global, ya que las afectaciones ambientales y a la salud que estos agentes provocan han crecido en forma preocupante. Derivado de esta problemática, se han realizado estudios para desarrollar técnicas que permitan la mitigación, identificación y tratamiento de estos contaminantes. En el presente artículo se realiza una exploración identificando datos bibliométricos sobre el estudio de la presencia de microplásticos en la atmósfera, así como su caracterización. Además, se abordan investigaciones sobre separadores ciclónicos, en donde se determina su eficiencia y los parámetros relevantes para el aumento de ésta, para con ello poder ser considerados como tecnologías aplicables a la mitigación de contaminación por microplásticos.

**Palabras clave:** microplásticos, caracterización de microplásticos, contaminación de aire, mitigación, ciclón separador, material particulado

## Microplastics in the environment and cyclone separators as a mitigation alternative: A review

**Abstract:** Microplastic pollution is a global problem today, as the environmental and health impacts caused by these agents have grown alarmingly. As a result of this problem, studies have been conducted to develop techniques for mitigating, identifying, and treating these pollutants. This paper explores by identification of bibliometric data the presence of microplastics in the atmosphere, as well as their characterization and sampling techniques. It also addresses research on cyclone separators, determining their efficiency and the parameters important for increasing it, so that they can be considered as technologies applicable to mitigating microplastic pollution.

**Keywords:** microplastics, microplastic characterization, air pollution, mitigation, cyclone separator, particulate matter

### Introducción

El estudio de los microplásticos ha tomado relevancia en los últimos años, ya que representa una problemática a nivel global que debe ser atendida. Si bien dicha problemática ha tomado auge en la última década, la identificación de este contaminante se realizó en 1960, en ambientes marinos (Thompson *et al.*, 2004), y no fue hasta 2004 que los microplásticos fueron estudiados de manera específica por Richard Thompson, definiéndolos como materiales poliméricos con un diámetro menor a 5 mm.

A partir de esta definición muchas investigaciones se centraron en la contaminación y afectaciones al medio ambiente por estas partículas, como es la contaminación en agua causando su transporte por corrientes marinas, afectaciones a la densidad y su funcionamiento para transportar otros contaminantes. Además de la ingesta de microplásticos por animales marinos lo que provoca alteraciones en su comportamiento y genética (ONU, 2023). La contaminación por microplásticos en suelo puede provocar una disminución en fósforo, salinidad y nitrógeno, cuyas propiedades son esenciales para el crecimiento de la vegetación, por lo que, al estar en contacto con dichos contaminantes, el desarrollo de la vegetación se realiza de manera que sufre perturbaciones (He *et al.*, 2024). La contaminación del aire en la atmósfera es otro aspecto importante para considerar. Así como en los océanos los microplásticos son arrastrados, también las corrientes de viento pueden trasladar estos contaminantes a lugares remotos, lo que provoca un mayor contacto con los seres humanos potenciando los riesgos a la salud (Sotomayor Mondragón & Vera Granada, 2020).

Debido a la presencia de estos contaminantes en el medio ambiente es que surge el interés del estudio de microplásticos en el cuerpo humano, así como de sus repercusiones en la salud; en 2018 se encuentran, por primera

vez, partículas microplásticas en heces humanas (Libemann B. *et al.*, 2018). Así diferentes estudios comienzan a revelar afectaciones en pulmones, cáncer y efectos negativos neurológicos (Zhang *et al.*, 2020) y dermatitis por constante contacto con la piel (Castañeta *et al.*, 2020).

A causa de la contaminación ambiental por microplásticos y las afectaciones a la salud humana por su presencia, su identificación y mitigación han tomado relevancia, por lo que la búsqueda de alternativas para su remoción se considera un factor importante para la solución de lo que ya se considera una problemática actual.

Una alternativa que puede ser considerada para la mitigación y separación de microplásticos en la atmósfera son los separadores ciclónicos, que son tecnologías industriales desarrolladas para el proceso de separación de material particulado, por lo que pueden ser empleados como medida precautoria para mitigar las emisiones de dicho material (Bahamondes Santos, J., 2008). Su funcionamiento por fuerza tangencial permite generar una espiral que desciende a la parte inferior y genera, mediante fuerza centrípeta, una segunda espiral que asciende, eliminando así, por la parte inferior, las partículas más gruesas, obteniendo en la parte superior las partículas más finas (Echeverri Londoño, 2006). Gracias a este funcionamiento es que tiene como ventaja un bajo costo de operación y mantenimiento, además de que el espacio requerido es poco, y no cuenta con partes móviles (Arismendy Barrera, 2013).

Los ciclones tienen diferentes tipos de aplicación, generalmente industriales, (Montijo-Valenzuela, 2021), entre estas aplicaciones se encuentra la recolección de polvos en hornos, en la industria alimenticia, minera y de construcción (Montijo-Valenzuela, 2021). Además, estos equipos separadores pueden ser empleados como medida precautoria para mitigar las emisiones de material particulado (Bahamondes Santos, J., 2008), estos pueden ser empleados como equipos pre-limpiadores (Bahamondes Santos, J., 2008), que pueden ayudar a aumentar la calidad en el aire.

La presente investigación realiza un análisis bibliométrico de los estudios que se han realizado con respecto a la contaminación por microplásticos, efectos a la salud, además de abordar temas de interés para su mitigación, como lo es el muestreo y caracterización de dichos contaminantes, sin dejar de lado el estudio de los separadores ciclónicos para remoción de material particulado.

## **Materiales y Métodos**

Con el objetivo de recopilar y analizar información se realiza un estudio bibliométrico sobre contaminación por microplásticos, presencia y afectaciones al medio ambiente y a la salud humana. Se reportan las investigaciones de mayor relevancia en muestreo, caracterización y mitigación de dichos contaminantes. Por otro lado, se analiza información sobre el estudio de separadores ciclónicos, en donde se determina su eficiencia de operación y el tipo de material particulado que se somete al proceso de separación.

La recopilación de información se llevó a cabo mediante buscadores como Google Scholar, ScienceDirect y Multidisciplinary Digital Publish Institute (MDPI) por sus siglas en inglés, considerando únicamente artículos con acceso libre.

Los términos empleados para la búsqueda de información fueron “microplastics, microplastics pollution, characterization, health effects caused by microplastics”.

El universo de búsqueda fue acotado a los años 2014 a 2025, considerado los idiomas inglés y español con un total de 68 documentos.

Se categorizó y filtró la información, de acuerdo al número de publicaciones por año, país, número de citas, tipo de documento, nombre de revista, factor de impacto y cuartil. Además de subdividir la información con respecto a las investigaciones realizadas en materia de microplásticos, considerando afectaciones al ambiente, afectaciones a la salud y caracterización y, por otro lado, segmentando los referentes al estudio de separadores ciclónicos.

El análisis de datos se realizó mediante el uso de Documentos de Google como plataforma colaborativa, además del apoyo mediante el gestor bibliográfico Mendeley, y VOSviewer como herramienta para la visualización de las redes bibliométricas.

## Resultados y Discusión

### Investigaciones sobre microplásticos

En la Figura 1 se presentan número de publicaciones por año que se han realizado en temas de microplásticos desde el año 2014 al 2025, siendo los últimos tres años los que presentan una mayor frecuencia de publicaciones. Esto debido a que en los últimos años la investigación en la temática de contaminantes microplásticos ha tomado mayor relevancia, y se buscan métodos y técnicas de caracterización y muestreo (Sotomayor Mondragón & Vera Granada, 2020).

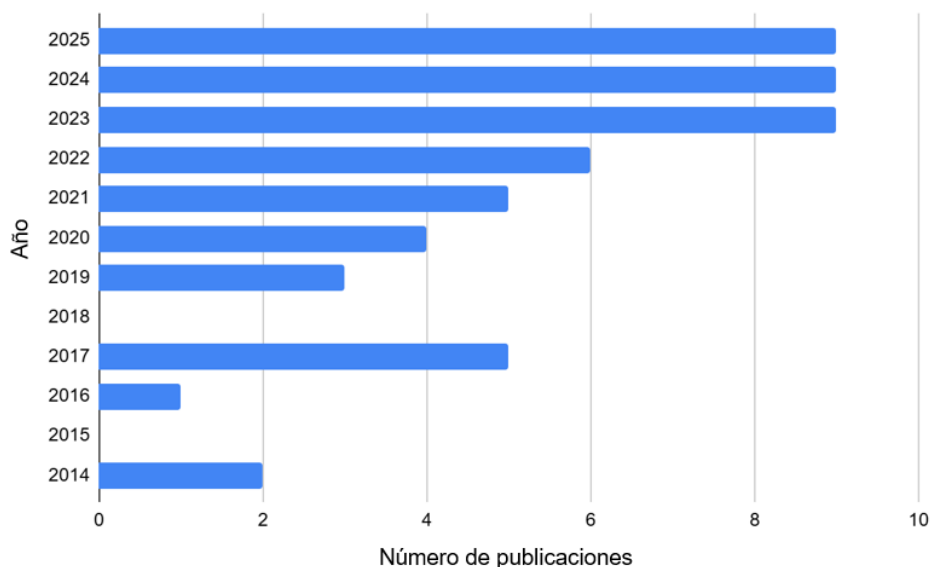


Figura 1. Número de publicaciones por año referente a microplásticos

Debido a la importancia de la identificación de microplásticos presentes en el ambiente, en la Figura 2 se reporta la distribución porcentual de investigaciones publicadas desde 2014 que hacen énfasis en la caracterización de estos contaminantes. Las técnicas más empleadas son microscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés), micro-Raman, tinción de microplásticos mediante colorantes orgánicos, y microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés). Estas técnicas son empleadas para identificar las características fisicoquímicas de los polímeros que se encuentran en forma de microplásticos en el ambiente, como su morfología, tamaño y estructura química. Por ejemplo (Sotil Suárez & Velásquez Hoyos, 2021) para evaluar la presencia de microplásticos en el interior de viviendas donde realizan un muestreo activo mediante bombas gravimétricas y emplean microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja para su caracterización. (Ramaremis *et al.*, 2024) emplean la técnica de microespectroscopía Raman, en donde a partir de la tinción de microplásticos con colorantes orgánicos como rosa de bengala se logró identificar polietileno de alta densidad, poliuretano y tereftalato de polietileno.

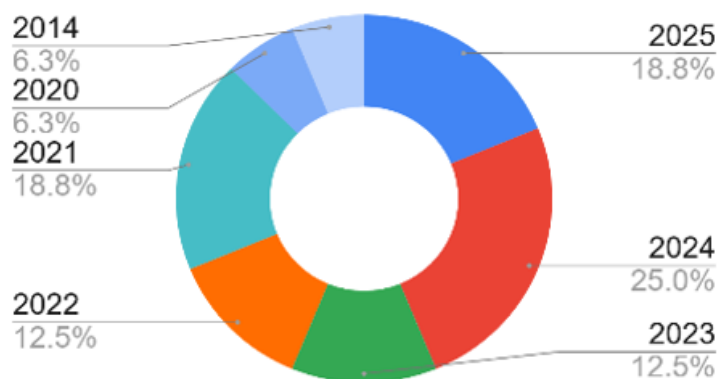


Figura 2. Porcentaje de publicaciones por año sobre caracterización de microplásticos

Por otro lado, la Figura 3 reporta el número de publicaciones que aportan información sobre las afectaciones a la salud y al medio ambiente. En el año 2017, se presentó el mayor número de investigaciones en tema medioambiental por microplásticos. Es importante destacar que en 2019 se identifican formalmente a las investigaciones sobre afectaciones a la salud por presencia de estos contaminantes, ya que en 2018 es cuando surge el interés por el estudio de los efectos a la salud por presencia de microplásticos en el cuerpo humano (Libemann B. *et al.*, 2018).

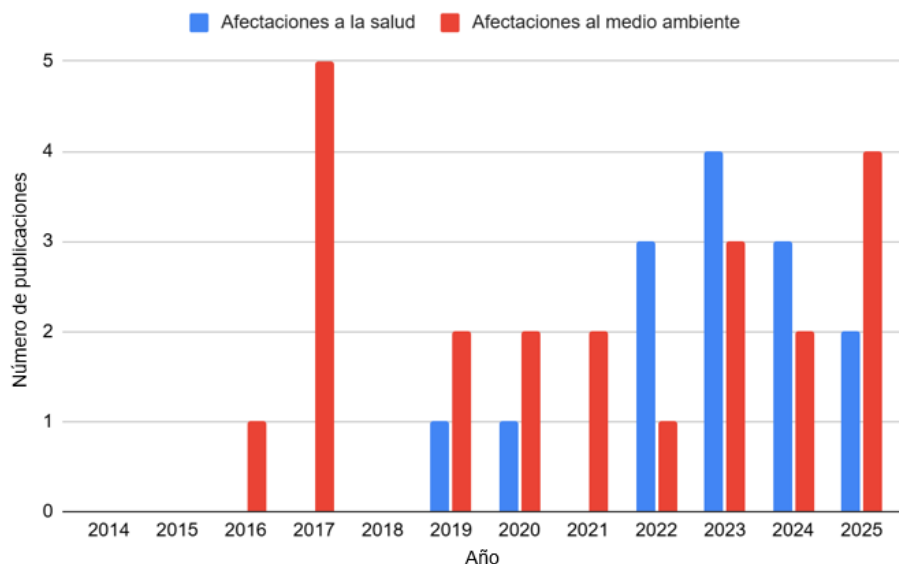


Figura 3. Número de publicaciones por año sobre afectaciones a la salud y al medioambiente causadas por microplásticos

Como lo muestra la Figura 3, el interés por el estudio de las afectaciones a la salud y medioambientales han permanecido, e incluso incrementado, con el paso del tiempo. Algunas afectaciones medioambientales que surgen a causa de la presencia de microplásticos es el cambio en la densidad aparente en el suelo, la capacidad de retención de agua y la materia orgánica del mismo (Khalid *et al.*, 2020). En el agua al encontrarse en contacto con los animales marinos provocan su ingesta lo que provoca la reducción de ingesta de alimentos, asfixia e intoxicación, además de la captación trófica que se propicia (Sánchez Ramírez, 2018). Aunado a ello los estudios por afectaciones a la salud humana revelan daños pulmonares, afectaciones neurológicas y dermatitis por contacto con la piel (Van Cauwenberghe & Janssen, 2014).

Es por ello la importancia de evaluar alternativas que permitan la mitigación de la contaminación a causa de microplásticos. Si bien la presencia de estos contaminantes se encuentra en el agua, suelo y aire, es en este último en donde se enfoca la propuesta de separadores ciclónicos, documentados en esta revisión.

#### *Investigaciones sobre separadores ciclónicos*

Los separadores ciclónicos son tecnologías que permiten realizar un proceso de separación de material particulado que se encuentra suspendido en una corriente gaseosa, comúnmente empleado en emisiones por producción; sin embargo, este sistema puede ser empleado para la mitigación o captación de algún material específico. Es por ello que surge el interés de su implementación para la eliminación de microplásticos presentes en el aire.

En la Figura 4 se reporta el número de publicaciones relacionadas con separadores ciclónicos, en donde, los resultados en su mayoría provienen de simulación numérica empleando SolidWorks. Estos trabajos se basan en la variación de las geometrías de construcción del ciclón para así apreciar el cambio en la eficiencia de separación. Así mismo los estudios muestran la separación de material particulado, como fibras de fique, con un tamaño de partícula de 1 a 10  $\mu\text{m}$ , emisiones de la combustión de vehículos automotores mayores a 2.5  $\mu\text{m}$ , y materiales plásticos como PVC y PET, con densidades de flujo de 1380  $\text{kg}/\text{m}^3$  y del material de 1400  $\text{kg}/\text{m}^3$  (Kang *et al.*, 2024).

En los resultados de las simulaciones, se reportan eficiencias de separación superiores al 90% para partículas menores a 10  $\mu\text{m}$ , y superiores al 85% en procesos de separación en pruebas experimentales con partículas menores a 200  $\mu\text{m}$ . De igual forma, se indica la relación que guardan algunos factores con la eficiencia de separación, de modo que la eficiencia se ve incrementada cuando existe una diferencia de densidades entre la del flujo y la del material (Ratri Chowdhury *et al.*, 2024), cuando se emplea una geometría cónica en el ciclón separador (Kang *et al.*, 2024) y conforme al diámetro del material particulado (Chávez Sánchez *et al.*, 2018).

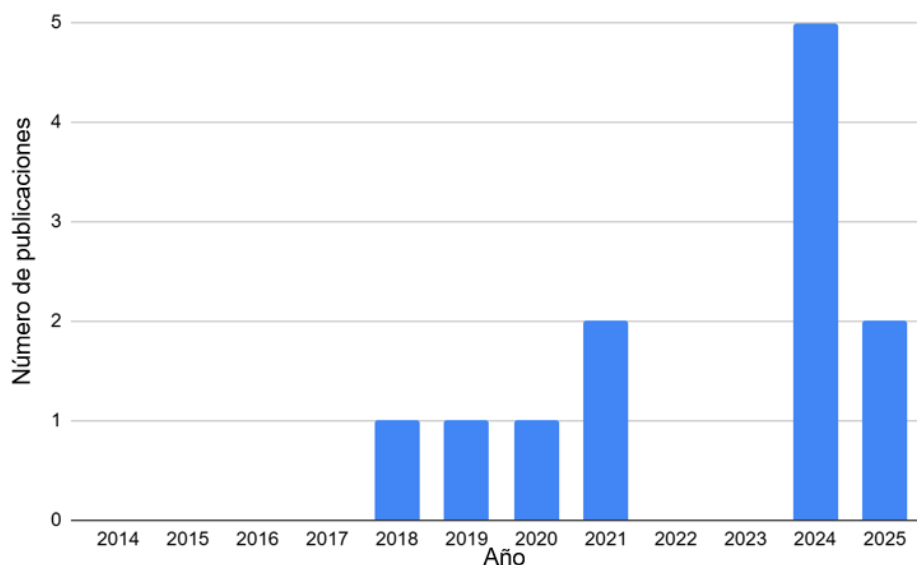


Figura 4. Número de publicaciones por año referente a separadores ciclónicos

Los separadores ciclónicos presentan, como ventaja, la ausencia de partes móviles, un bajo requerimiento de mantenimiento, y un funcionamiento simple. Sin embargo, estos equipos no son recomendables para materiales aglomerantes y abrasivos (Echeverri Londoño, 2006).

#### *Análisis general de las investigaciones*

Se realizó un análisis de la relación entre las investigaciones de acuerdo a la coautoría y las palabras clave, ya que, aunque los temas de microplásticos y de separadores ciclónicos son áreas diferentes, en ciertas aplicaciones presentan algunos puntos en común, como la importancia y afectaciones del material particulado suspendido en la atmósfera.

En la Figura 5 se presenta el diagrama de la relación entre coautores; para este diseño de diagrama se tomó un mínimo de documentos por autor, de 2 artículos. Por lo que, de los 68 artículos totales 53 presentaron coincidencias.

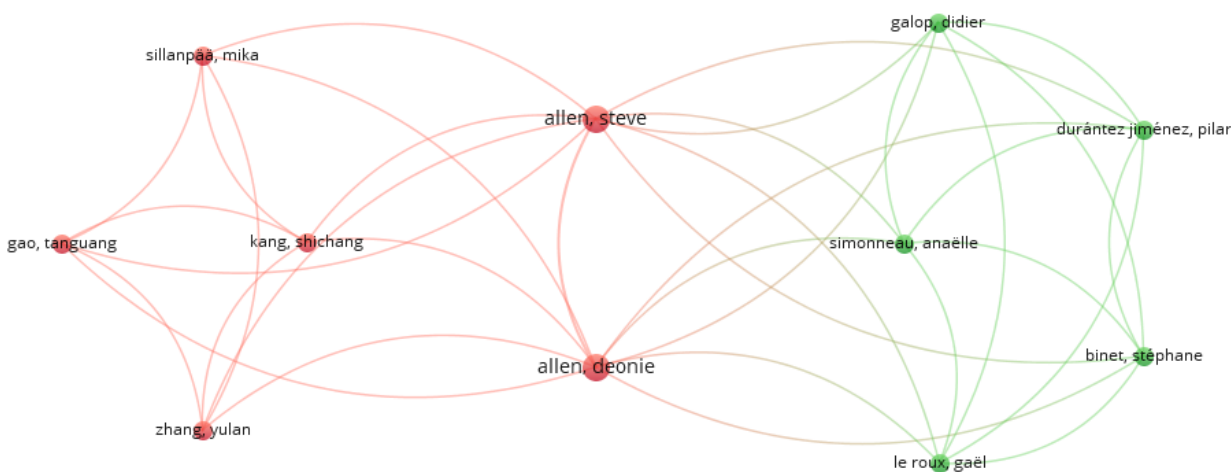


Figura 5. Diagrama de relación por coautoría

El diagrama muestra una red en donde cada nodo representa un autor, conforme sea mayor el tamaño del nodo mayor será el número de publicaciones, además las líneas interconectadas representan las colaboraciones entre autores. Logra observarse en la Figura 5 que Steve Allen es uno de los autores que presenta mayor densidad en coautoría, esta

referente a microplásticos en investigaciones como “Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment”, (Allen *et al.*, 2019) y “Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives” (Zhang *et al.*, 2020).

En la Figura 6 se observa la relación entre los artículos estudiados considerando las palabras clave, de las cuales se tomó un número mínimo de 3 en la frecuencia de su repetición. El tamaño del nodo de la palabra indica la frecuencia con la que aparece en las investigaciones, entre mayor sea el tamaño mayor frecuencia de uso tiene, las líneas representan con que otra palabra es vinculada en las investigaciones y los colores son clasificados de acuerdo al periodo de publicación asociado a la barra que se encuentra en la parte inferior. Puede observarse que la mayor ocurrencia se presenta en la palabra “microplastics”, seguida de “human health”, lo anterior se debe a que, aunque en una mayor parte las investigaciones contempladas son respecto a microplásticos, hay investigaciones de simulación, en donde se consideran los separadores ciclónicos para mitigación de dichas partículas (Kang *et al.*, 2024). Por otra parte, la afectación a la salud humana es mencionada no solo por microplásticos, sino también por material particulado, en general (Montijo-Valenzuela, 2021).

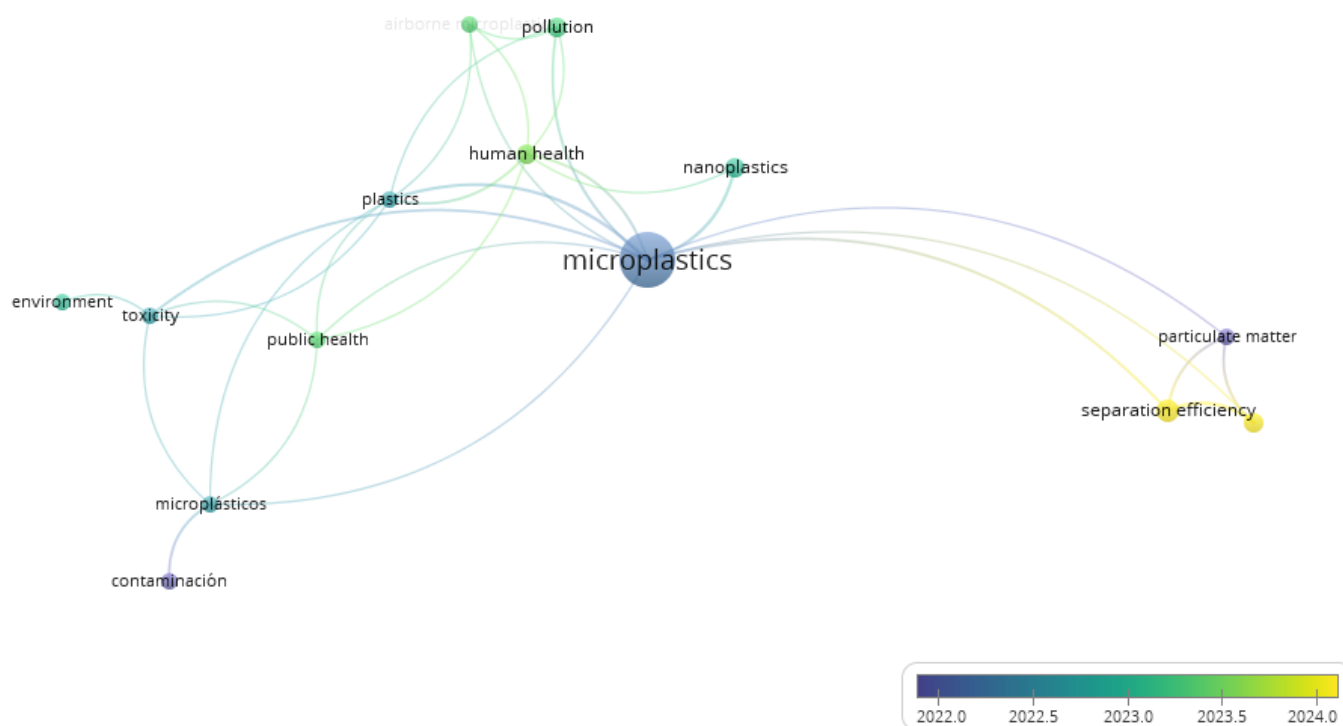


Figura 6. Diagrama de relación por palabras clave

La Figura 7 presenta la relación de tres datos de publicación: el año, la frecuencia y el país. Los tres países con mayor cantidad de publicaciones son: Estados Unidos, con 8 artículos, seguido de China, con 7 artículos, y México, con 6 publicaciones. Los años que tienen mayor número de publicaciones son del 2023 al 2025, lo cual demuestra que el tema es, actualmente, de gran importancia en la comunidad científica debido a todas las afectaciones medioambientales y a la salud humana que estos contaminantes causan y que anteriormente no habían sido contempladas para su estudio.

En la Figura 8 se presenta la relación entre los 68 documentos estudiados, para identificar qué porcentaje está conformado por artículos, revisiones (*reviews*) y tesis, observándose que predominan los artículos científicos, seguidos de los *reviews*; en la Tabla 1 se presentan los 10 documentos con mayor número de citas en orden creciente. Un mayor porcentaje de artículos implica tener investigaciones nuevas respecto a microplásticos, abordando diferentes temas de estudio, como el análisis de técnicas de caracterización, afectaciones medioambientales y a la salud y evaluaciones de procesos para mitigación de estos agentes contaminantes.

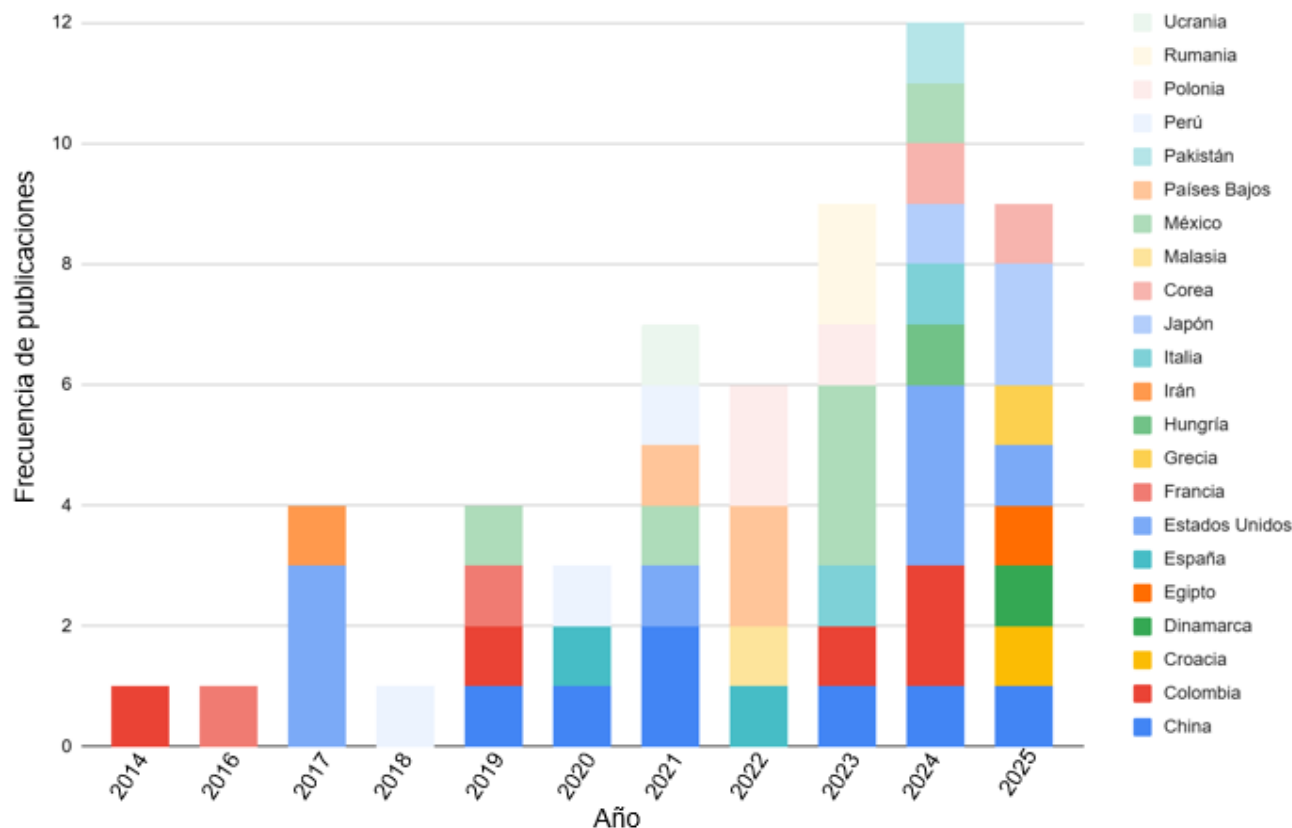


Figura 7. Frecuencia de publicaciones por año de cada país

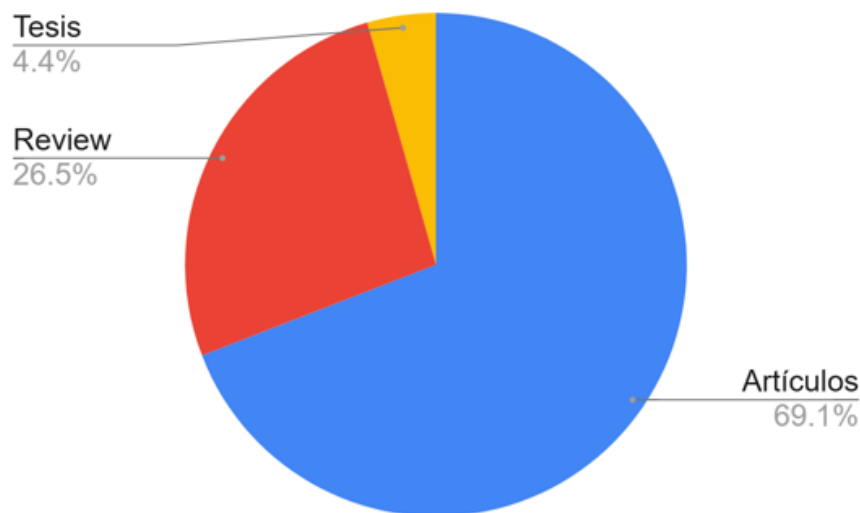


Figura 8. Relación de tipo de documento

Posteriormente se analiza el factor de impacto y el cuartil de las revistas, los cuales son una métrica que proporciona información sobre la frecuencia con la que son citados los artículos, siendo éste un indicador para la evaluación de una investigación, dicho análisis se presenta en la Figura 9. Se observa que 8 de las 10 revistas presentan un cuartil 1, y 4 de ellas un factor de impacto mayor a 10, lo que indica que tienen un índice alto de frecuencia de citación.

Tabla 1. Documentos con mayor número de citas

Tipo de documento	Nombre del documento	Número de citas	Referencias
Artículo	Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran	595	(Dehghani <i>et al.</i> , 2017)
Artículo	Production, use, and fate of all plastics ever made	629	(Geyer <i>et al.</i> , 2017)
Artículo	Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota	642	(Hartmann <i>et al.</i> , 2017)
Artículo	Detection of microplastics in human lung tissue using $\mu$ FTIR spectroscopy	993	(Jenner <i>et al.</i> , 2022)
Artículo	Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives	1197	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)
Review	Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment	1439	(Jan Kole <i>et al.</i> , 2017)
Artículo	Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?	2246	(Dris <i>et al.</i> , 2016)
Artículo	Microplastics in bivalves cultured for human consumption	2402	(Van Cauwenberghe & Janssen, 2014)
Artículo	Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood	2737	(Leslie <i>et al.</i> , 2022)
Artículo	Production, use, and fate of all plastics ever made	17219	

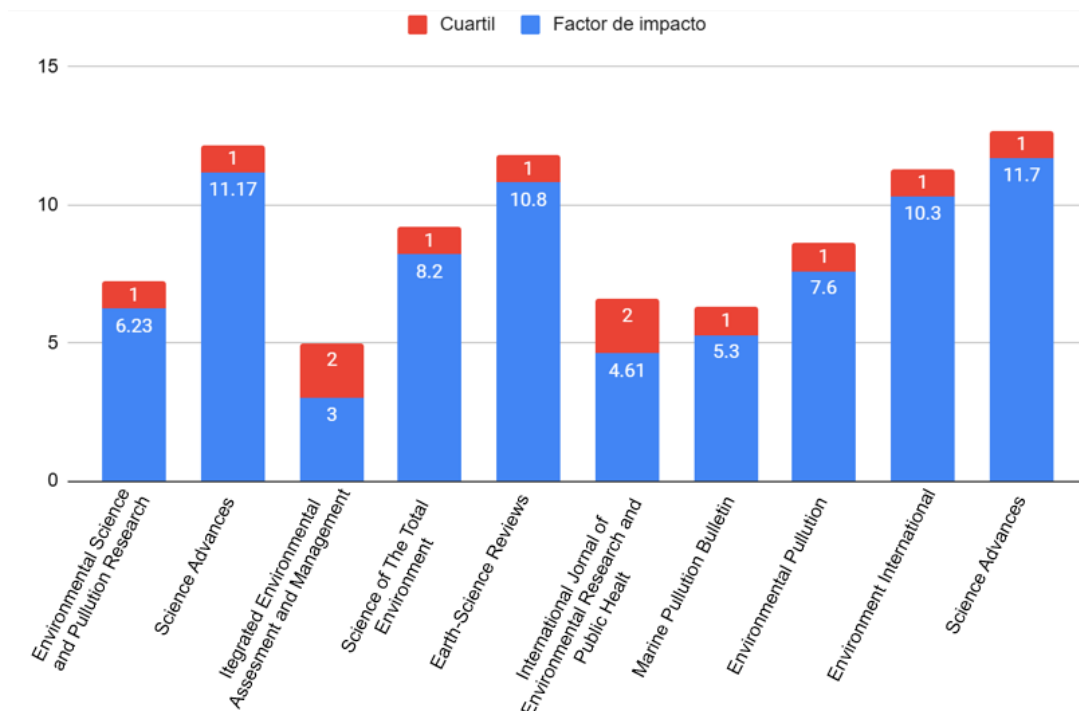


Figura 9. Factor de impacto y cuartil por revista

## Conclusiones

El análisis bibliométrico permite identificar de manera gráfica como el interés por el estudio de los microplásticos ha tomado una mayor relevancia a lo largo de los años, además de evaluar de que tipo de investigaciones está compuesto el análisis.

La estandarización de técnicas de caracterización de microplásticos son fundamentales para lograr analizar su comportamiento, composición y morfología.

Aunque existen técnicas actuales para la purificación del aire como el empleo de filtros, una de las ventajas de los separadores ciclónicos es que no requieren de partes móviles; además, tienen un bajo consumo energético, pero deben ser consideradas las características del material que desea separarse.

Los separadores ciclónicos pueden ser empleados en la separación de microplásticos presentes en el aire, debido a que dichas partículas cumplen con características que, se considera, logran aumentar la eficiencia de separación, tales como tamaño y densidad.

El análisis que se realiza segmentando 10 de las investigaciones estudiadas, se realiza con base en el mayor número de citas, lo cual le proporciona relevancia a las investigaciones y un buen fundamento para ser contempladas en el análisis, al observar que la mayoría se encuentran en un cuartil 1.

**Agradecimientos y financiamiento:** extendiendo mi agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el recurso económico para los estudios del programa de Maestría en Ingeniería, y al Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro, por el apoyo económico para participar en la convocatoria CIDSER 2025.

## Bibliografía

- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12, 339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- Alziny, N., Elgarhy, F. M., Mohamed, A. M., Shalaby, H. Y., Nounou, N., Soliman, O., & Abdelnaser, A. (2025). The impact of microplastics in food and drugs on human health: A review of the MENA region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(3), 380. <https://doi.org/10.3390/ijerph22030380>
- Amran, N. H., Zaid, S. S. M., Mokhtar, M. H., Manaf, L. A., & Othman, S. (2022). Exposure to microplastics during early developmental stage: Review of current evidence. *Toxics*, 10(10), 597. <https://doi.org/10.3390/toxics10100597>
- Athanasia Christou, Giachaskiel, B., Olofsson, U., & Grigoratos, T. (2025). Review of health effects of automotive brake and tyre wear particles. *Toxics*, 13(4), 301. <https://doi.org/10.3390/toxics13040301>
- Bahamondes Santos, J. L. (2008). *Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval*. Universidad Austral de Chile.
- Bai, Z., Wang, N., & Wang, M. (2021). Effects of microplastics on marine copepods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112243. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112243>
- Briones Román, J. (2022). *Efectos en la salud de los microplásticos*. Universidad de Alcalá. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/54225>
- Calvo Anglada, S., & Morales, E. B. (2020). *Detección y caracterización por tamaños de micro y nanoplasticos en muestras de interés ambiental*. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/97987/files/TAZ-TFG-2020-3200.pdf>
- Carriera, F., Di Fiore, C., & Avino, P. (2024). Occurrence of microplastics in the atmosphere: An overview on sources, analytical challenges, and human health effects. *Atmosphere*, 15(7), 863. <https://doi.org/10.3390/atmos15070863>
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplastics: A contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3). [http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v37n3/v37n3\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v37n3/v37n3_a05.pdf)
- Chávez Sánchez, Á. R., & Velásquez, S. (2018). Flujo de gases de combustión en el dimensionamiento de ciclones a adaptarse en tubos de escape para el control de partículas. *Ciencia y Tecnología*, 14(3), 63–74.
- Daoutakou, M., & Kintzios, S. (2025). Biosensors for micro- and nanoplastics detection: A review. *Chemosensors*, 13(4), 143. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13040143>
- Dehghani, S., Moore, F., & Akhbarizadeh, R. (2017). Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20360–20371. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9674-1>
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
- Echeverri Londoño, C. A. (2006). Diseño óptimo de ciclones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 123–139. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050911>
- El-Emam, M. A., Zhou, L., Shi, W., & Han, C. (2021). Performance evaluation of standard cyclone separators by using CFD–DEM simulation with realistic bio-particulate matter. *Powder Technology*, 385, 357–374. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.006>
- Fang, C., Awoyemi, O. S., Saianand, G., Xu, L., Niu, J., & Naidu, R. (2024). Characterising microplastics in indoor air: Insights from Raman imaging analysis of air filter samples. *Journal of Hazardous Materials*, 464, 132969. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132969>
- Fernández Morales, J., García-Morales, J. L., Suffo, M., Ani, A., Turk, D., & Bek, A. (2025). Macroissues with microplastics: A review on distribution, environmental impacts, pollutant interactions, toxicity, analytical methodology and mitigation strategies. *Applied Sciences*, 15(7), 4057. <https://doi.org/10.3390/app15074057>

- Fonseca, F., Pinto, F., Sánchez, K., & Vega, D. (2019). Diseño y construcción de un separador ciclónico tipo académico. *Revista Matices Tecnológicos*, 11. <https://core.ac.uk/reader/287169940>
- Gaylarde, C. C., Baptista Neto, J. A., & da Fonseca, E. M. (2024). Indoor airborne microplastics: Human health importance and effects of air filtration and turbulence. *Microplastics*, 3(4), 653–670. <https://doi.org/10.3390/microplastics3040040>
- Gaylarde, C., Monteiro, E., Fonseca, D., Enyoh, C. E., Devi, A., Maduka, T. O., Tyagi, L., Rana, S., Akuwudike, I. S., & Wang, Q. (2025). A review of materials for the removal of micro- and nanoplastics from different environments. *Micro*, 5(2), 17. <https://doi.org/10.3390/micro5020017>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gómez-Méndez, L. D., Robles-Camargo, J. E., Vera-Bravo, R., Moncaleano-Niño, A. M., Devia Castillo, C. A., Ospina-Torres, R., Escobar-Cortés, Y., Camacho-Erazo, M., & Amarillo-Suárez, A. R. (2024). Characterization of microplastics in bees and their products in urban and rural areas of the Sabana de Bogotá, Colombia. *Microplastics*, 3(4), 589–598. <https://doi.org/10.3390/microplastics3040036>
- Han, I., Lee, C., Belchec, C., Shipper, A. G., & Wiens, K. E. (2024). Microplastics in urban ambient air: A rapid review of active sampling and analytical methods for human risk assessment. *Environments*, 11(11), 256. <https://doi.org/10.3390/environments11110256>
- Hartmann, N. B., Rist, S., Bodin, J., Jensen, L. H. S., Schmidt, S. N., Mayer, P., Meibom, A., & Baun, A. (2017). Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(3), 488–493. <https://doi.org/10.1002/ieam.1904>
- Harusato, A., & Kato, M. (2025). Mechanisms of generation and ecological impacts of nano- and microplastics from artificial turf systems in sports facilities. *Environments*, 12(4), 109. <https://doi.org/10.3390/environments12040109>
- Hernández-Fernández, J., Puello-Polo, E., Castro-Suarez, J. R., Rocha-Santos, P., Mouneyrac, C., Da Silva, P. A., Tubić, A. T., & Hernández-Fernández, J. (2023). Characterization of the morphological and chemical profile of different families of microplastics in samples of breathable air. *Molecules*, 28(3), 1042. <https://doi.org/10.3390/molecules28031042>
- Jan Kole, P., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Jarosz, K., Janus, R., Wądrzyk, M., Wilczyńska-Michalik, W., Natkański, P., & Michalik, M. (2022). Airborne microplastic in the atmospheric deposition and how to identify and quantify the threat: Semi-quantitative approach based on Kraków case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12252. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912252>
- Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 831, 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- Jesús Rivas Gutiérrez, M. del C. G. C., & Gómez Bañuelos, J. R. (2023). Los plásticos y el daño a la salud de los seres vivos y a los ecosistemas. *Biocenosis*, 34(1), 93–103. <https://doi.org/10.22458/rb.v34i1.4828>
- Kudzin, M. H., Piwowarska, D., Festinger, N., & Chruściel, J. J. (2023). Risks associated with the presence of polyvinyl chloride in the environment and methods for its disposal and utilization. *Materials*, 17(1), 173. <https://doi.org/10.3390/ma17010173>
- Lars Hildebrandt, T. Z., S. P., D. F., Gerdt, G., & D. P. (2021). Comparison and uncertainty evaluation of two centrifugal separators for microplastic sampling. *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125482. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125482>
- Leal, T. W., Tochetto, G., De Medeiros Lima, V., De Oliveira, P. V., Schossler, H. J., De Oliveira, S. R., & Júnior, S. H. D. A. (2025). Nanoplastics and microplastics in agricultural systems: Effects on plants and implications for human consumption. *Microplastics*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.3390/microplastics4020016>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Liebmann, B., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Reiberger, T., & Schwabl, P. (2018). Assessment of microplastic concentrations in human stool: Final results of a prospective study. *Medical University of Vienna*, 28, 1. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.16638.02884>
- Lin, Y. D., Huang, P. H., Chen, Y. W., Hsieh, C. W., Tain, Y. L., Lee, B. H., Hou, C. Y., & Shih, M. K. (2023). Sources, degradation, ingestion and effects of microplastics on humans: A review. *Toxics*, 11(9), 747. <https://doi.org/10.3390/toxics11090747>
- Liu, C., Li, J., Zhang, Y., Wang, L., Deng, J., Gao, Y., Yu, L., Zhang, J., & Sun, H. (2019). Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environment International*, 128, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.024>
- Montijo-Valenzuela, E. E. (2021). Diseño y validación de un ciclón Stairmand destinado al filtrado parcial de material particulado. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 11(1), 80–88. <https://doi.org/10.37843/rted.v11i1.196>
- Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M., & Grijalva-Noriega, F. (2023). Micro(nano)plásticos en el medio ambiente: Una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. *Epistemos (Sonora)*, 17(35), 68–74. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i35.311>
- Noorimotlagh, Z., Hopke, P. K., & Mirzaee, S. A. (2024). A systematic review of airborne microplastics emissions as emerging contaminants in outdoor and indoor air environments. *Emerging Contaminants*, 10(4), 100372. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100372>
- Parvez, M. S., Czédli, H., Hoque, M. I., Rahman, M. M., Anwar, A., Uddin, A. H. M. M., Hasan, M. S., Bibi, D., Tóthmérész, B., Magura, T., & Simon, E. (2024). Accumulation of microplastics and potentially toxic elements in plant leaves along an urbanization gradient in Bangladesh. *Toxics*, 12(12), 848. <https://doi.org/10.3390/toxics12120848>
- Prasad, S., Bennett, A., & Triantafyllou, M. (2024). Characterization of Nile red-stained microplastics through fluorescence spectroscopy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8), 1403. <https://doi.org/10.3390/jmse12081403>
- Râpă, M., Darie-Niță, R. N., Matei, E., Predescu, A. M., Berbecaru, A. C., & Predescu, C. (2023). Insights into anthropogenic micro- and nanoplastic accumulation in drinking water sources and their potential effects on human health. *Polymers*, 15(11), 2425. <https://doi.org/10.3390/polym15112425>
- Ratri Chowdhury, M. M. B., S. R., S. C. B., & A. B. (2024). Analyzing the effect of the density of medium on efficiency of hydrocyclone separator in sorting of PVC and PET using CFD. *Results in Materials*, 21, 100497. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100497>
- Rojas, A. F., Aranzazu, L. M., Gaviria, G. H., & Carrero, J. I. (2014). Degradación térmica de polimetil metacrilato en múltiples extrusiones. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 131–142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291333276012>

- Rosso, B., Bravo, B., Gregoris, E., Barbante, C., Gambaro, A., & Corami, F. (2023). Quantification and chemical characterization of plastic additives and small microplastics (<100 µm) in highway road dust. *Toxics*, 11(11), 936. <https://doi.org/10.3390/toxics11110936>
- Rostampour, S., Jhang, S. S., Hsu, J. K., Cook, R., Li, Y., Fan, C., & Sung, L. P. (2025). Evaluating the environmental factors on microplastic generation: An accelerated weathering study. *Microplastics*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.3390/microplastics4010013>
- Sharaf Din, K., Khokhar, M. F., Butt, S. I., Qadir, A., & Younas, F. (2024). Exploration of microplastic concentration in indoor and outdoor air samples: Morphological, polymeric, and elemental analysis. *Science of the Total Environment*, 908, 168398. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168398>
- Shim, Y., & Min, H. (2025). Identification and characterization of microplastics in human cervicovaginal lavage fluids using Raman spectroscopy: A preliminary study. *Life*, 15(3), 357. <https://doi.org/10.3390/life15030357>
- Sotomayor Mondragón, M., & Vera Granada, M. (2020). Revisión bibliográfica del estudio de los microplásticos presentes en el aire. *Repositorio Institucional UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53192>
- Stabnikova, O., Stabnikov, V., Marinin, A., Klavins, M., Klavins, L., & Vaseashta, A. (2021). Microbial life on the surface of microplastics in natural waters. *Applied Sciences*, 11(24), 11692. <https://doi.org/10.3390/app112411692>
- Suárez, S., Hoyos, V. G., Olivera, C. A., & Alberto, C. (2021). Evaluación de la presencia de microplásticos en el aire del interior de viviendas, Carabayllo.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
- Vázquez Rodríguez, G. A. (2019). Los microplásticos textiles (o la increíble historia de cómo tu suéter termina en el salero). *Ciencia*, 70(1), 56–63. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/70\\_1/PDF/Microplasticos.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/70_1/PDF/Microplasticos.pdf)
- Vighi, M., Bayo, J., Fernández-Piñas, F., Gago, J., Gómez, M., Hernández-Borges, J., Herrera, A., Landaburu, J., Muniategui-Lorenzo, S., Muñoz, A. R., Rico, A., Romera-Castillo, C., Viñas, L., & Rosal, R. (2021). Micro and nano-plastics in the environment: Research priorities for the near future. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 257, 163–218. [https://doi.org/10.1007/398\\_2021\\_69](https://doi.org/10.1007/398_2021_69)
- Wang, B., Liu, H., Zhou, C., Huo, H., Dong, K., & Jiang, Y. (2020). Enhancing the collection efficiency of a gas cyclone with atomization and electrostatic charging. *Powder Technology*, 364, 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.062>
- Wang, Z., Jin, A., & Liu, M. (2025). Simulation and experimental design of an axial flow cyclone separator suitable for high-wind–sand environments. *Sustainability*, 17(8), 3355. <https://doi.org/10.3390/su17083355>
- Wojnowska-Baryła, I., Bernat, K., & Zaborowska, M. (2022). Plastic waste degradation in landfill conditions: The problem with microplastics, and their direct and indirect environmental effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13223. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013223>
- Zaragoza-Estrada, A., Estrada-Monje, A., & Zaragoza-Contreras, E. A. (2023). Microplásticos: Presencia y diseminación en el medio ambiente. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 88. <https://doi.org/10.33064/ivcuua2023884100>
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A real global threat for environment and food safety: A state of the art review. *Nutrients*, 15(3), 617. <https://doi.org/10.3390/nu15030617>