



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos

Caracterización y Análisis de Micro y Nanoplásticos en los Alimentos

Characterization and Analysis of Microplastics and Nanoplastics in Food

Autor/es

Marina Bordonaba Iliarte

Director/es

Antonio Herrera Marteache
Pilar Conchello Moreno

Facultad de Veterinaria

2025

ÍNDICE

1. Resumen	3
2. Introducción	4
3. Justificación y objetivos	5
4. Metodología	6
4.1. Fuentes de información	6
4.2. Métodos de búsqueda y criterios de selección	7
5. Resultados y discusión	8
5.1 Objetivo 1: Caracterización de los agentes de peligro micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria.....	8
5.1.1. Microplásticos y Nanoplásticos: Definición y clasificación	8
5.1.2. Características fisicoquímicas y estructurales	8
5.1.3. Contaminación e impacto ambiental.....	9
5.1.4. Fuentes de contaminación en la cadena alimentaria	11
5.1.5. Peligros asociados a los MPs y NPs en alimentos	12
5.1.6. Efectos para la salud humana	14
5.1.7. Exposición alimentaria a MPs y NPs	18
5.1.8. Aspectos legales y estrategias de prevención y control	21
5.2 Objetivo 2: Ventajas e inconvenientes de los métodos analíticos disponibles para la detección y cuantificación de micro y nanoplásticos en los alimentos.....	23
5.2.1. Metodología general para el análisis de MPs y NPs	23
5.2.2. Métodos de análisis para la identificación y cuantificación de MPs y NPs.....	25
5.2.3. Ventajas e inconvenientes de los métodos analíticos	27
5.3 Objetivo 3: Avances científicos en el desarrollo de nuevos métodos de análisis.....	30
6. Conclusiones	31
7. Valoración personal	32
8. Bibliografía	33

1. Resumen

Este trabajo aborda la problemática de los micro y nanoplasticos en la cadena alimentaria, analizando su origen, características, los riesgos para la salud humana y los métodos de detección en los alimentos. Estas partículas se consideran contaminantes emergentes derivados de la fragmentación de plásticos más grandes o de su uso intencionado en productos industriales. Su persistencia, tamaño reducido y composición química les permite interactuar con sustancias del entorno y bioacumularse en organismos generando efectos físicos, químicos y biológicos.

Se han identificado múltiples vías de contaminación alimentaria, tanto por contaminación de origen ambiental como por el procesamiento industrial y envasado. Su presencia ha sido documentada en productos alimenticios marinos, sal, agua embotellada, frutas, verduras y miel, lo que evidencia su amplia distribución. Actualmente, se analizan sus posibles efectos potenciales en la salud humana como la inflamación intestinal o toxicidad hepática, así como los riesgos microbiológicos asociados a la plastisfera.

El trabajo incluye una revisión exhaustiva de las técnicas analíticas para su detección y cuantificación tales como, la espectroscopía Raman, FTIR, la microscopía electrónica y otras técnicas emergentes como el uso de biosensores, si bien, la falta de protocolos estandarizados limita el estudio comparativo de resultados y la evaluación precisa del riesgo. En la actualidad, los avances tecnológicos como la inteligencia artificial o el uso de dispositivos portátiles ofrecen nuevas oportunidades para la monitorización eficiente en tiempo real de las partículas. No obstante, persisten importantes incertidumbres científicas, tanto en la metodología de identificación como en la valoración del riesgo.

Los resultados de este trabajo subrayan la necesidad de seguir investigando para evaluar el riesgo, establecer límites que regulen estos plásticos en alimentos y diseñar estrategias sostenibles de mitigación que garanticen la seguridad alimentaria y prevengan la salud pública.

Abstract

This project addresses the issue of micro- and nanoplastics in the food chain, analyzing their origin, characteristics, risks to human health, and methods for their detection in food. These particles are considered emerging contaminants, originating either from the fragmentation of larger plastics or their intentional use in industrial products. Their persistence, small size, and chemical composition allow them to interact with environmental substances and bioaccumulate in organisms, generating physical, chemical, and biological effects.

Multiple pathways of food contamination have been identified, including environmental sources as well as industrial processing and packaging. Their presence has been documented in marine food products, salt, bottled water, fruits, vegetables, and honey, indicating their widespread

distribution. Currently, potential health effects such as intestinal inflammation or liver toxicity are under investigation, as well as microbiological risks associated with the plastisphere.

The study includes a comprehensive review of analytical techniques for their detection and quantification, such as Raman spectroscopy, FTIR, electron microscopy, and emerging methods like the use of biosensors. However, the lack of standardized protocols limits comparative studies of results and accurate risk assessment. At present, technological advances such as artificial intelligence and the use of portable devices offer new opportunities for efficient real-time monitoring of these particles. Nevertheless, significant scientific uncertainties remain, both in identification methodologies and in risk evaluation.

The findings of this paper highlight the need for continued research to assess the risk, establish regulatory limits for these plastics in food, and design sustainable mitigation strategies that ensure food safety and protect public health.

2. Introducción

El uso de los plásticos está ampliamente extendido en la actualidad, convirtiéndose en uno de los materiales más empleados a nivel global desde la década de 1950 (OMS, 2023). Su versatilidad, ligereza y resistencia han hecho que desempeñen un papel crucial en la economía, mundial, tanto en sectores industriales como domésticos.

Según el informe desarrollado por el equipo de trabajo de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en 2020, la producción mundial ha experimentado un incremento significativo, pasando de 0,5 millones de toneladas en 1950 a 465 millones de toneladas en 2019 (OCDE, 2020). Gran parte de estos plásticos se convierte en residuos que contaminan el medio ambiente y ponen en riesgo la salud humana, animal y ambiental. Según el informe de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) de 2019, se estima que el 40% de los desechos plásticos provienen de la industria alimentaria, y entre 5 y 13 millones de toneladas llegan a los océanos cada año (Plastics Europe and EPRO, 2016; AESAN, 2019).

La OCDE calcula que en el año 2060 la cantidad de desechos plásticos podría alcanzar aproximadamente mil millones de toneladas (OCDE, 2024), debido al crecimiento de las economías emergentes y las faltas de medidas efectivas para reducir su producción, mejorar el reciclaje y reutilización.

Su alta demanda y la inadecuada gestión de sus residuos provocan su acumulación y fragmentación, generando una contaminación significativa en los ecosistemas con micro y nanopartículas que se dispersan globalmente a través del aire, agua o suelo (Wu, Zhang y Xiong, 2018). Se han detectado en los ecosistemas marinos y terrestres, en áreas como el Mar

Mediterráneo y zonas de convergencia ecuatorial (Lusher, P. C. H. Hollman y Mendoza-Hill, 2017). Los micro y nanoplásticos se acumulan en los océanos y se han detectado en todos los niveles de la cadena alimentaria, desde el zooplancton hasta bivalvos y pescados, siendo estos productos los que representan la principal vía de exposición humana, ya que por su tamaño, son fáciles de ingerir (AESAN, 2019).

Aproximadamente el 90% del plástico presente en los océanos es microplástico. Estas diminutas partículas poseen un alto potencial tóxico debido a su persistencia en el medio ambiente y su capacidad de adsorber sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas (Pastor y Agulló, 2019). Son diversas las organizaciones internacionales que han manifestado su preocupación por la contaminación ambiental y alimentaria por micro y nanoplásticos y su impacto en la salud pública. La Organización Mundial de la Salud (OMS) destaca la urgencia de investigar y establecer metodologías analíticas para la evaluación de la contaminación alimentaria, así como reducir drásticamente los residuos plásticos (OMS, 2023) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) lidera iniciativas para la gestión de residuos plásticos y la implementación de políticas nacionales para su reducción (Pastor y Agulló, 2019). Por su parte, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la AESAN, resaltan la urgencia de investigar sobre los riesgos de los micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria (AESAN, 2021). En nuestro país, la AESAN informa que en los últimos años se ha evidenciado experimentalmente la presencia de microplásticos en diversos alimentos, especialmente en alimentos de origen marino (pescado y moluscos bivalvos) y otros alimentos (miel, cerveza, sal de mesa, agua) (AESAN, 2021).

Aunque no existe una regulación específica que limite la presencia de estos contaminantes en los alimentos, sí se han establecido normativas que regulan la composición y uso de materias plásticas en contacto con los alimentos (AESAN, 2021) con la finalidad de prevenir la contaminación alimentaria por la migración de compuestos tóxicos, lo que permite un cierto grado de control sobre el impacto en la salud. No obstante, estos residuos plásticos pueden incorporarse al medioambiente generando nuevos riesgos para la salud y la seguridad.

3. Justificación y objetivos

Este tipo de contaminante emergente tiene capacidad bioacumulativa en los organismos, inicialmente en el intestino y posteriormente se propaga a otros tejidos cruciales (Ghosh, 2025). Su persistencia en el ambiente y su presencia en alimentos y bebidas ha generado numerosas especulaciones sobre sus consecuencias derivadas para la salud (Rosario, 2022). Por otra parte, la ausencia de protocolos estandarizados por parte de las instituciones para la detección y

cuantificación de los micro y nanoplásticos dificulta la obtención de datos precisos y confiables para llevar a cabo una evaluación de la exposición alimentaria y del riesgo para la salud humana.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo general abordar estas necesidades críticas en el ámbito de la evaluación del riesgo asociado a la contaminación alimentaria por micro y nanoplásticos. A través de una revisión bibliográfica exhaustiva, se pretende recopilar y analizar la información científica disponible relativa a los métodos analíticos para su detección y cuantificación que sirva como referencia para futuras investigaciones y de este modo se espera contribuir a la protección de la salud pública en relación con este contaminante.

Para lograr dicho objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los agentes de peligro micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria.
- Relacionar y comparar ventajas e inconvenientes de los métodos analíticos disponibles para la detección y cuantificación de micro y nanoplásticos en los alimentos.
- Identificar los avances científicos en el desarrollo de nuevos métodos de análisis.

4. Metodología

El presente trabajo se realizó siguiendo una metodología sistemática de revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados con el tema de estudio.

Se ha diseñado la estrategia de búsqueda y los criterios de inclusión con el fin de recopilar la información y evidencia más actual relacionada con la caracterización de los agentes de peligro y los métodos analíticos para su detección y cuantificación en los alimentos.

4.1. Fuentes de información

Para la búsqueda de información, se utilizaron el buscador “Alcorze” de la biblioteca de la Universidad de Zaragoza y la plataforma “Web Of Science” (WOS), reconocida a nivel internacional como referencia en bases de datos científicas. Las fuentes bibliográficas consultadas se han obtenido de las siguientes bases de datos:

Dialnet: es una base de datos de contenidos científicos hispánicos de artículos de revista, libros, tesis y reseñas, con acceso al texto completo mediante la Universidad de Zaragoza. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/>

Science-Direct: es una base de datos operada por Elsevier, la cual ofrece un acceso a una amplia colección de artículos y revistas científicas, investigaciones académicas y otros recursos. En esta base se puede hacer una búsqueda simple a través de las “Keywords” o una búsqueda avanzada

escogiendo el año de publicación o título concreto de la publicación. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/>

Zaguan: es el Repositorio Institucional de Documentos de la Universidad de Zaragoza, la cual recoge trabajos académicos, tesis, artículos y revistas publicados en la universidad. Se ha utilizado para conocer y evaluar la estructura e información de un trabajo bibliográfico. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/?ln=es>

PubMed: es una base de datos de referencia internacional especializada en biomedicina y ciencias de la salud, mantenida por la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos. Incluye artículos científicos procedentes principalmente de MEDLINE. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

Además, se han consultado diversos repositorios de webs de organizaciones nacionales e internacionales como AESAN, EFSA y OMS, con el fin de obtener información sobre posiciones, regulaciones y declaraciones emitidas por distintos países en relación con el tema de estudio.

4.2. Métodos de búsqueda y criterios de selección

Para facilitar la búsqueda de información se utilizaron términos y palabras clave en inglés relacionadas con los conceptos y temas principales del trabajo (tabla 1).

Los operadores booleanos utilizados han sido: “AND” entre palabras para poder dar una mayor sensibilidad y especificidad de la búsqueda, y “OR” juntando las palabras que significan casi lo mismo, como “microplastic” y “nanoplastic”.

Tabla 1. Palabras clave y operadores bloleanos utilizados en la búsqueda de información.

1#	("microplastic") AND ("nanoplastic").
2#	("microplastic") AND ("effects" OR "toxicity").
3#	("microplastic" OR "nanoplastic") AND ("food" OR "fish" OR "salt").
4#	("microplastic") AND ("method" OR "strategies" OR "techniques").
5#	("microplastic") AND ("analysis") AND ("food").
6#	("microplastic") AND ("analysis" OR "method").

Para seleccionar la literatura relevante se establecieron criterios de selección: el rango temporal (entre 2015 y 2025), el idioma (inglés y español) y la pertinencia a los objetivos de revisión.

También se obtuvo información relevante siguiendo la técnica de búsqueda inversa. Para ello, se utilizaron las citas y referencias bibliográficas de algunos de los artículos consultados para completar la información.

5. Resultados y discusión

5.1 Objetivo 1: Caracterización de los agentes de peligro micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria

5.1.1. Microplásticos y Nanoplásticos: Definición y clasificación

Según la EFSA (AESAN, 2019), los microplásticos (MPs) se definen como una mezcla heterogénea de materiales plásticos de diferentes formas, como fragmentos, fibras, gránulos, pellets o perlas, con un tamaño que varía entre 0,1 y 5000 μm (EFSA, 2016). Por otro lado, los nanoplásticos (NPs) son definidos como aquellos materiales plásticos con dimensiones que oscilan entre 0,001 y 0,1 μm .

Los MPs se pueden clasificar, según su origen en: microplásticos primarios y secundarios. Los primarios son aquellos fabricados originalmente para tener ese tamaño, y se utilizan en productos de higiene personal, cosméticos, textiles (AESAN, 2019) o como materia prima para la producción de plásticos de mayor tamaño (Pastor y Agulló, 2019). La Unión Europea ha comenzado a restringir el uso de este tipo de MP con el fin de reducir las emisiones al medio ambiente (Directiva (UE) 2019/904) y eliminarlos de los productos a los que se añaden intencionadamente.

Los MP secundarios, en cambio, son la forma predominante en el medio ambiente y se generan por la fragmentación de macroplásticos debido a la exposición prolongada a la luz UV o la abrasión física (AESAN, 2019).

Por otro lado, los NPs pueden originarse tanto a partir de materiales de ingeniería como por fragmentación de los desechos microplásticos (AESAN, 2021). Su liberación al medio ambiente está estrechamente relacionada con la gestión inadecuada de los residuos plásticos.

5.1.2. Características fisicoquímicas y estructurales

Los MPs y NPs forman un grupo heterogéneo de partículas que varían en tamaño, densidad y forma lo que determina su destino y distribución en el medio ambiente.

Según Hartmann (2019), los residuos plásticos pueden presentarse en diversas formas como esferas, gránulos, películas, pellets, perlas y fragmentos, siendo estos últimos los más comunes en los microplásticos y nanoplásticos y caracterizándose por su morfología irregular como resultado de la degradación.

Los plásticos están compuestos principalmente por polímeros sintéticos tales como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET), que se sintetizan mediante procesos de polimerización de monómeros como el etileno. La

estructura de la cadena polimérica, que puede ser lineal, ramificada o entrecruzada, así como su peso molecular, determinan propiedades utilizadas en la industria, tales como la estabilidad térmica, la resistencia a la degradación y la capacidad de interacción con otras sustancias químicas de los plásticos fabricados. Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de 2023, el polímero más usado en términos de producción y generación de residuos es el PE, seguido de PP (FAO, 2023).

Sus propiedades fisicoquímicas de los plásticos pueden modificarse mediante la incorporación de aditivos específicos para la mejora de su rendimiento, sus características plásticas o para prolongar su vida útil. Entre los aditivos detectados más frecuentemente en los residuos microplásticos mediante estudios ambientales se encuentran los ftalatos como el ftalato de dietilo (DEP), el bisfenol A (BPA) y esterés de difenilo polibromados (PBDEs) (Lusher, Hollman y Mendoza-Hill, 2017; PlasticsEurope y EPRO, 2016). Alguno de estos aditivos, como el bisfenol, ha demostrado ser tóxico, por lo que su uso está regulado.

Los MPs y NPs se caracterizan por su alto contenido en polímeros, su naturaleza sólida, su insolubilidad en agua y resistencia a la degradación, así como por una baja solubilidad (Godoy Calero, 2021). Estos materiales tienen una alta hidrofobicidad, lo que es determinante cuando se encuentran en medios acuáticos. En el agua, los grupos funcionales de los plásticos se disocian en iones, lo que les permite interaccionar fácilmente con compuestos iónicos del entorno, como sales o metales.

La densidad de los MPs es variable y depende de los polímeros con los que estén fabricados. Los MPs de baja densidad fabricados con PE y PP son capaces de flotar en la superficie del agua. En contraste, los plásticos más densos, como PET y PVC, tienden a acumularse en los sedimentos (Andrady, 2011).

Los MPs y NPs experimentan un proceso conocido como envejecimiento químico debido a su exposición a las condiciones ambientales. Este proceso genera productos de degradación como radicales libres, compuestos peróxidos o grupos carbonilo, lo que altera tanto la composición química superficial como sus propiedades físicas, como la rugosidad y la porosidad (FAO, 2023).

5.1.3. Contaminación e impacto ambiental

Los MPs y NPs están ampliamente distribuidos en los ecosistemas terrestres. El suelo tiene capacidad de retener y acumular estas partículas. Su presencia en este entorno se debe principalmente a la erosión del suelo agrícola, la descarga de efluentes de las plantas de tratamiento o de los sistemas de alcantarillado, así como a las corrientes de agua que terminan llegando al medio marino (EFSA, 2016).

En entornos marinos, los MPs y NPs provienen principalmente de las actividades humanas como la pesca, cruceros o vertidos (Arif et al., 2024). Además, la acción de las olas, la radiación solar y la abrasión con las superficies rocosas contribuyen a su fragmentación (Ruíz-Santoyo et al., 2025).

En los ecosistemas fluviales, se ha observado una acumulación progresiva de MPs debido a diversos factores, como las descargas industriales, los residuos derivados de la industria y productos de consumo y los sistemas combinados de alcantarillado pluvial (Bhan, Kumar y Elangovan, 2024), lo que convierte a los ríos en el principal vector de transporte hacia los océanos. Además, se han detectado MPs en agua marina, agua dulce, aguas subterráneas y hasta en agua embotellada (Menon et al., 2023).

- Impacto ambiental: efecto en los ecosistemas, bioacumulación y biomagnificación

El impacto en los ecosistemas de estos contaminantes está generando consecuencias tanto a nivel físico como químico y biológico.

Los MPs se infiltran en los suelos afectando negativamente tanto en su estructura como su calidad. Su presencia disminuye la porosidad y permeabilidad, lo que reduce la disponibilidad de oxígeno y altera la capacidad de retención y absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas (UNEP, 2021). Además, estos plásticos pueden modificar la composición y diversidad del microbiota del ambiente.

Mientras que algunos microorganismos, pueden adherirse a las superficies plásticas y formar biopelículas, e incluso llegar a degradar parcialmente estos materiales, muchos otros se ven afectados negativamente por las alteraciones que los MPs y NPs generan en su entorno (Zhao, Lozano y Rillig, 2021). Estas partículas pueden alterar las condiciones fisicoquímicas del medio, como el pH, la disponibilidad de oxígeno, la concentración de nutrientes o la temperatura, lo que interfiere en el equilibrio microbiano natural y puede disminuir la diversidad de especies o afectar a funciones ecológicas esenciales como la descomposición de la materia orgánica.

En el ecosistema marino, los MPs y NPs pueden quedar suspendidos en la columna de agua, acumulados en los sedimentos o depositados en los fondos marinos, donde pueden permanecer durante largos periodos (GESAMP, 2016). Esta persistencia representa una amenaza para los organismos marinos y su preocupación es cada vez mayor, ya que la ingestión de estas partículas puede producir respuestas tóxicas (Cole et al., 2011).

El peligro de los MPs no radica únicamente en su presencia física, sino también en su capacidad de liberar sustancias químicas tóxicas y aditivos y actuar como vectores de contaminantes. Al liberarse al medio, pueden experimentar procesos de degradación. Al mismo tiempo, tienen la capacidad de interactuar y actuar como vectores de contaminantes orgánicos persistentes

(COPs) y metales pesados (Giraldez et al., 2020). Debido a que los COPs son sustancias hidrofóbicas, los MPs actúan como sumideros, adsorbiéndolos en su superficie y favoreciendo su acumulación en los ecosistemas acuáticos (Lusher, P. Hollman y Mendoza-Hill, 2017).

Según el informe de la Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA) de 2019, la resistencia a la biodegradación de los MPs hace que puedan ser absorbidos por los organismos y permanecer en sus tejidos si no son excretados (ACSA, 2019). Esto da lugar a procesos de bioacumulación, donde las partículas se acumulan progresivamente en los organismos vivos, en sus tejidos o intestino a lo largo del tiempo. Además, debido a esta permanencia, se genera una biomagnificación a lo largo de la cadena trófica y alimentaria, donde los niveles de concentración de MPs y NPs aumentan a medida que se asciende en los niveles tróficos (Carriquiriborde, 2021).

Este fenómeno tiene consecuencias severas en la salud de los ecosistemas y en la salud humana.

5.1.4. Fuentes de contaminación en la cadena alimentaria

- Contaminación alimentaria de origen ambiental

La contaminación ambiental ha llevado a la presencia generalizada de MPs y NPs en los organismos que habitan distintos hábitats naturales (Bergmann, Gutow y Klages, 2015).

Los microplásticos pueden incorporarse a la cadena trófica mediante la ingestión directa, como los animales marinos que han ingerido MPs en suspensión, o mediante transferencia trófica, es decir, la ingesta de otros animales que contienen a su vez microplásticos.

Se ha demostrado que en el ambiente marino los invertebrados son capaces de ingerir MPs, los cuales tienen el potencial de ser transferidos hacia niveles tróficos superiores. Esta contaminación ha sido documentada en gran variedad de productos pesqueros, como lubina, merluza, atún, caballa, así como en moluscos bivalvos, especialmente en los mejillones que tienden a concentrar estos contaminantes al ser organismos filtradores.

Diversos estudios han puesto en evidencia la presencia de microplásticos en la sal de mesa con resultados muy variables dependiendo de la zona geográfica de origen. Se estima que el origen de la contaminación es más de tipo atmosférico que por el agua, ya que los microplásticos se propagan por el aire y el proceso de extracción de la sal se realiza completamente a la intemperie, en los depósitos de agua marina y en piscinas de evaporación.

Además, los microplásticos pueden ingresar en la cadena alimentaria a través de frutas y verduras debido a la contaminación de los suelos agrícolas, aguas residuales y fertilizantes. En menor medida, los NPs son capaces de atravesar las raíces de las plantas y alcanzar tallos y hojas de vegetales comestibles, lo que podría convertir a estos productos en otro grupo de alimentos con presencia de partículas plásticas (Vitali et al., 2023).

También se ha estudiado la presencia de estas partículas en animales destinados a la producción de alimentos, como las aves, ya sea por la transferencia desde el suelo o por la alimentación con piensos elaborados con harinas de pescado, lo que puede representar una vía de entrada de plásticos en los alimentos no marinos (EFSA, 2016). La ingesta de MPs podría provocar una acumulación en el sistema digestivo y atravesar la barrera intestinal para terminar en la porción comestible del animal, aunque esto aún se encuentra en investigación.

- Contaminación durante el proceso de producción y procesamiento de alimentos

Los MPs y NPs pueden incorporarse a los alimentos durante la producción y procesamiento. Durante operaciones mecánicas, como el corte o molido, es posible que se generen partículas microplásticas, o bien, mediante el uso de tuberías plásticas en la producción de bebidas o productos líquidos (Calikanzaros, 2024). Además, el contacto de los alimentos con los materiales de la maquinaria y el equipo contribuye a la transferencia de MPs. Estas partículas pueden introducirse a lo largo de toda la cadena de producción y consumo, incluyendo la contaminación por microfibras derivadas del polvo atmosférico, que pueden depositarse sobre los productos alimenticios en cualquier fase (ACSA, 2019).

Asimismo, la presencia de MPs y NPs ha sido reportada en diversas bebidas, como el agua embotellada, cerveza, bebidas carbonatadas y leche. No obstante, la variabilidad en los estudios existentes dificulta la identificación de una tendencia clara y la determinación de sus fuentes de contaminación. Se sugiere que su origen podría estar asociado a los materiales utilizados en su producción, impurezas no deseadas en las botellas o contaminación de partículas en la materia prima en el caso de la cerveza (EFSA, 2016).

- Contaminación alimentaria a través del contacto con los envases plásticos

En el envasado, la contaminación de los alimentos por MP y NP liberados espontáneamente desde los materiales de envasado es poco probable. Sin embargo, una manipulación inadecuada podría provocar una fragmentación del envase y contaminar el alimento, pero en tal caso, serían lo suficientemente grandes como para ser fácilmente identificables y retiradas antes del consumo (Toussaint et al., 2019). No obstante, el contacto prolongado entre el alimento y el envase plástico en ciertas condiciones puede favorecer la migración de partículas más pequeñas hacia el producto. Un ejemplo concreto de esta problemática fue demostrado por Hernández et al. (2019), que confirmaron la presencia de una alta cantidad de partículas microplásticas en el té, derivadas de las bolsas de envasado fabricadas con materiales plásticos.

5.1.5. Peligros asociados a los MPs y NPs en alimentos

PELIGROS FÍSICOS

Los MPs y NPs constituyen un peligro físico potencial debido a su tamaño, forma y persistencia. Pueden interactuar y dañar de forma directa a los tejidos biológicos tras ser ingeridos o inhalados. Su acumulación en distintas partes del organismo puede interferir con funciones fisiológicas normales. Además, la superficie y pequeño tamaño de los NPs les permite atravesar barreras biológicas e ingresar a nivel celular o tisular, lo que plantea preocupaciones sobre posibles impactos en la salud humana (EFSA, 2016).

PELIGROS QUÍMICOS

Los microplásticos y nanoplásticos no solo están compuestos de polímeros sintéticos, sino que también pueden transportar sustancias químicas con efectos tóxicos potenciales. Estos peligros derivan de dos procesos: la liberación de aditivos químicos durante la degradación de los plásticos y la adsorción de contaminantes ambientales en su superficie.

Durante su degradación en el medio marino, los MPs pueden liberar aditivos químicos como ftalatos, bisfenol A (BPA), estabilizantes y ésteres difenólicos polibromados (PBDEs). El uso del BPA aún está permitido en materiales de contacto ya que, la EFSA considera que no representa un riesgo para la salud de los consumidores en los niveles actuales de exposición (EFSA, 2015). Sin embargo, la toxicidad de compuestos derivados del bisfenol como el bisfenol F o S, aún se desconocen. Los PBDEs, por su parte, han sido encontrados en cantidades bastante altas, hasta un 50 por ciento en peso (Engler, 2012).

La degradación de los MPs, especialmente por la exposición al sol, la radiación UV y otras condiciones ambientales, hace que estos sean compuestos sean liberados de forma biodisponible para los organismos marinos, ingresando así en la cadena alimentaria y finalmente pueda llegar a los seres humanos (Lusher, P. Hollman y Mendoza-Hill, 2017).

Además, los MPs y NPs pueden actuar como vectores al adsorber contaminantes ambientales persistentes, metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) y pesticidas. Tanto la adsorción como la liberación de estos compuestos unidos a las partículas depende de varios factores, como la relación superficie-volumen, el gradiente de concentración entre las partículas y el agua u organismos, así como de la temperatura, el pH y el tamaño de poro del polímero (GESAMP, 2016). Esto demuestra que los microplásticos no solo son una fuente directa de químicos tóxicos, sino que también son un medio de transferencia de contaminantes persistentes a lo largo de la cadena.

PELIGROS BIOLÓGICOS

Los MPs constituyen un peligro de naturaleza biológica debido a su capacidad para actuar como vectores de microorganismos patógenos y alterar el equilibrio microbiano del medio ambiente.

Este peligro biológico se ve intensificado por la formación de un microecosistema en la superficie de las partículas plásticas, denominada como “plastisfera”. Este entorno se caracteriza por la presencia de biopelículas compuestas por comunidades microbianas vivas. Estas pueden convertirse en reservorios o vehículos para el transporte de bacterias, virus, hongos e incluso genes de resistencia a antibióticos (Lusher, P. Hollman y Mendoza-Hill, 2017). La formación y composición de la plastisfera están influenciados por las propiedades fisicoquímicas de los MPs como, la carga superficial, la hidrofobicidad y la rugosidad.

Cuando los MPs colonizados por biofilms son ingeridos, pueden tener efectos adversos en la microbiota intestinal. Su consumo puede incrementar el riesgo de infecciones y alteraciones metabólicas, debido a la presencia de bacterias patógenas y la propagación de genes de resistencia a antibióticos, lo que compromete el equilibrio de la microbiota intestinal y altera la función inmunológica del organismo (Wu et al., 2025).

5.1.6. Efectos para la salud humana

A pesar del creciente número de estudios, aún existen importantes incertidumbres sobre los riesgos reales y a largo plazo asociados a los MPs y NPs. Factores como su exposición acumulativa y las interacciones sinérgicas con poblaciones microbianas y otros contaminantes, aumentan la complejidad del problema. A esto se le suma el desconocimiento sobre el comportamiento de los NPs en distintos medios y sus mecanismos de acción, lo que dificulta aún más la evaluación de su peligrosidad e impacto en la salud. Las interacciones de los NPs a nivel molecular siguen siendo poco investigadas, lo que limita el desarrollo de estrategias eficaces de prevención, mitigación y regulación.

Las principales vías de exposición a los MPs y NPs son la vía digestiva, respiratoria y dérmica, siendo todas ellas relevantes para la salud.

La exposición oral es la vía más estudiada, principalmente a través de la ingesta de alimentos y bebidas contaminadas (AESAN, 2019). La mayor fuente de plásticos es el agua potable. Se estima que una persona promedio puede ingerir hasta 1.769 partículas de plástico semanales solo provenientes del agua (Senathirajah et al., 2021).

Diversos estudios han evidenciado que la relación dosis – respuesta de los MPs y NPs es dependiente de su concentración, observándose efectos más severos en el intestino a concentraciones elevadas. Sin embargo, muchos de estos estudios, al emplear modelos animales, utilizan dosis que superan los niveles estimados de exposición ambiental (FAO, 2023), lo que limita la extrapolación directa de los resultados al consumo humano.

Por otro lado, la exposición inhalatoria ocurre cuando los MPs y NPs presentes en el aire son inhalados, especialmente en zonas de alta contaminación ambiental. Estos una vez suspendidos en el aire, se convierten en materia particulada atmosférica, pudiendo ser inhalados accidentalmente y siendo un riesgo para la salud respiratoria de las personas (Zuri, Karanasiou y Lacorte, 2023). En cuanto a la exposición dérmica, aunque se considera una vía menos prevalente, puede producirse a través del contacto con prendas de vestir, cosméticos, polvos y cremas, entre otros (AESAN, 2019). Se ha planteado que los NPs pueden atravesar la barrera dérmica (Revel et al., 2018), y que el contacto de las células epiteliales con MPs puede inducir estrés oxidativo (Schirinzi et al., 2017). No obstante, los posibles efectos adversos derivados de esta exposición no han sido evaluados, por lo que se requiere mayor investigación al respecto (Zuri, Karanasiou y Lacorte, 2023).

Una vez absorbidos y distribuidos en el organismo, los MPs y NPs pueden inducir toxicidad física, química y microbiológica, además de efectos acumulativos a largo plazo. Según la EFSA (2016), solo los MPs con un tamaño inferior a 150 μm son capaces de atravesar el epitelio intestinal, generando una exposición sistémica, aunque su tasa de absorción es limitada ($\leq 0,3\%$). Únicamente las partículas de menos de 1,5 μm pueden penetrar profundamente en los órganos. Se ha relacionado la exposición de estos contaminantes con un mayor riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Vethaak y Legler, 2021).

- Efectos físicos de las partículas por sí mismas

Tras la ingesta, los MPs pueden interactuar con el tracto gastrointestinal, provocando inflamación local, irritación física y alteraciones en la microbiota intestinal (Li et al., 2020; Mittal et al., 2023). Además, estas partículas presentan la capacidad de atravesar la barrera intestinal desencadenando respuestas de estrés oxidativo e inflamación de los órganos (Meng et al., 2022) y generando efectos tóxicos en hígado (hepatotoxicidad) y en riñones (nefrotoxicidad).

La exposición prolongada a MPs y NPs ha mostrado efectos genotóxicos y alteraciones en el aparato reproductor. En ratas y ratones se ha observado inflamación ovarica, disminución de la calidad de los ovocitos, toxicidad testicular y mal formaciones y anomalías espermáticas (Hou et al., 2021; Liu et al., 2022). Paralelamente, otros estudios han reportado efectos genotóxicos, como daño en el ADN y alteraciones en la división celular (Poma et al., 2019).

Los NPs pueden atravesar la barrera hematoencefálica y alcanzar el sistema nervioso central, generando alteraciones del comportamiento y daño neuronal (Ruggieri et al., 2025). En peces expuestos a NPs, se detectaron cambios morfológicos cerebrales y reducción en el contenido de agua en el cerebro (Mattsson et al., 2017).

A nivel celular, los MPs y NPs han mostrado la capacidad de inducir citotoxicidad, respuestas proinflamatorias, despolarización mitocondrial y bloqueo de transportadores celulares (Wu et al., 2019). En cultivos celulares humanos, se ha observado una reducción en la viabilidad celular, así como efectos acumulativos con la exposición continua (Yong, Valiyaveetil y Tang, 2020).

A pesar de que la absorción intestinal y pulmonar de MPs y NPs es baja, no debe considerarse irrelevante, especialmente si se tiene en cuenta la exposición continua a lo largo de toda la vida y el potencial de acumulación en los tejidos y órganos. Partículas de menos de 10 µm han sido observadas migrando desde la cavidad intestinal hacia los sistemas linfático y circulatorio, mientras que los NPs pueden incluso penetrar membranas celulares (Vethaak y Legler, 2021).

Con los estudios disponibles hasta el momento, no es posible determinar si la exposición prolongada a MPs/NPs podría derivar en trastornos crónicos, ni si un microbioma alterado por estos compuestos contribuiría a ello (FAO, 2023).

- Efectos tóxicos de los componentes químicos que puedan migrar desde las partículas

Los MPs y NPs además de su naturaleza particulada, pueden contener hasta un 4% de aditivos en su composición, y poseen la capacidad de absorber y liberar componentes químicos peligrosos (EFSA, 2016). Uno de los mayores peligros asociados es su función como vectores de sustancias químicas tóxicas, que amenazan la salud humana y ambiental.

Durante la fabricación de los plásticos se les incorporan numerosos aditivos, los cuales no están unidos químicamente a la matriz polimérica. Esta característica facilita su migración y liberación al medio ambiente o su transferencia a los tejidos de los organismos que los ingieren.

Entre los compuestos más preocupantes se encuentran los ftalatos, utilizados como plastificantes, conocidos por tener la capacidad de actuar como disruptores endocrinos (Lusher, P. Hollman y Mendoza-Hill, 2017) y estar asociados con toxicidad reproductiva, alteraciones en desarrollo fetal y afecciones respiratorias como alergias y asma. El bisfenol A es otro aditivo relevante, capaz de unirse a receptores hormonales, provocando disrupción endocrina, toxicidad reproductiva y enfermedades de tipo metabólico y neurológico (Meeker, Sathyanarayana y Swan, 2009). Asimismo, los retardantes de llama, como los ésteres difenilicos polibromados (PBDEs) y el hexabromociclododecano (HBCD) son compuestos que también presentan potencial disruptor endocrino con efectos adversos como anomalías congénitas y toxicidad hepática y renal (Yogui y Sericano, 2009).

- Efectos tóxicos por los contaminantes ambientales transportados por las partículas

Los contaminantes ambientales persistentes, bioacumulativos y tóxicos, debido a sus características hidrofóbicas, se acumulan en gran medida en los MPs y NPs que flotan en el medio

marino. Diversos estudios han detectado concentraciones de hasta 2.750 ng/g de bifenilos policlorados (PCBs) y 24.000 ng/g de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en los microplásticos recolectados en las playas (EFSA, 2016), lo que demuestra la alta afinidad por estos contaminantes. Estos compuestos, además de su alta persistencia, se asocian con algunos efectos tóxicos, entre ellos carcinogenicidad, alteraciones en el sistema respiratorio y nervioso, disrupción endocrina y daños en la función reproductiva (AESAN, 2023a; AESAN, 2025).

Otros contaminantes orgánicos persistentes, como los pesticidas clorados, entre ellos el DDT y sus análogos DDE y DDD, también han sido detectados en los MPs marinos (Lusher, P. Hollman y Mendoza-Hill, 2017). Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la exposición a estos compuestos puede provocar síntomas neurológicos y gastrointestinales, así como efectos neuroconductuales y trastornos hematológicos (EPA, 2025).

Por otro lado, los metales pesados más frecuentes encontrados en los MPs y con concentraciones elevadas, incluyen el cadmio, cobre, plomo, aluminio, manganeso y hierro (Holmes, 2013). Estos representan un riesgo significativo debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación. La exposición al cadmio puede producir disfunción renal, desmineralización ósea y acumulación en el hígado y en los riñones (AESAN, 2023b). El plomo se ha asociado con efectos neurotóxicos, daño renal, hipertensión e incluso riesgo de mortalidad. En el caso del cobre y según el Instituto Nacional de la Salud (NIH), aunque es esencial en pequeñas cantidades, puede causar toxicidad hepática y gastrointestinal en concentraciones elevadas (NIH, 2022).

- Efectos por la contaminación microbiana de las partículas

Los MPs y NPs también representan un riesgo biológico para la salud humana, al actuar como vectores de microorganismos patógenos (Wang et al., 2021) y genes de resistencia a antibióticos. Debido a sus características fisicoquímicas como, su superficie dura y rugosa, su área y tamaño, estas partículas ofrecen un entorno propicio para la adhesión de los biofilms microbianos, incluyendo bacterias, virus y hongos.

Entre los patógenos más frecuentes encontrados en la superficie se encuentran bacterias del género *Vibrio*, capaces de proliferar rápidamente y causar enfermedades entéricas al entrar en contacto con el tracto digestivo humano (GESAMP, 2016). Otros patógenos como las *Pseudomonas*, pueden alterar el equilibrio de la flora intestinal y tener consecuencias negativas para la salud como la presencia de toxinas en la sangre o la reducción de la función autoinmunitaria. Además, se puede generar un entorno propicio para el desarrollo y la transmisión de genes de resistencia a los antibióticos.

Se ha observado que algunas bacterias potencialmente patógenas como *Legionella* y *Mycobacteria*, se concentran en mayor medida en los MPs (Wu et al., 2025). Según el Centro

para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), estas bacterias pueden causar infecciones respiratorias graves como neumonía y enfermedades crónicas como tuberculosis, que afecta principalmente a los pulmones y puede extenderse a otros órganos. Además, representan un riesgo considerable para mujeres embarazadas y personas inmunodeprimidas (CDC, 2024; OMS, 2022).

La propagación de los microorganismos resistentes a los antibióticos en estos entornos complica aún más el control de las infecciones, intensificando los riesgos para la salud.

5.1.7. Exposición alimentaria a MPs y NPs

Actualmente, no es posible, de forma adecuada, realizar una evaluación del riesgo relativa a la exposición alimentaria de MPs y NPs, debido a la falta de información sobre los niveles de exposición, su distribución y la relación dosis-respuesta. Según Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA), esta dificultad se ve acentuada por la gran variabilidad en sus propiedades toxicológicas determinadas por su composición química, forma y tamaño, (ERIA, 2023). Además, la falta de estandarización en las unidades de medida utilizadas (por ejemplo, partículas/g o partículas/individuo) y en los protocolos de muestreo complica la comparación entre estudios y dificulta la caracterización del riesgo y sus posibles efectos sobre la salud (Neves et al., 2015; EFSA, 2016). Se requiere una investigación más exhaustiva que utilice diseños experimentales realistas y dosis representativas de la exposición humana habitual. Asimismo, considerar a los grupos vulnerables, para establecer límites de seguridad y criterios para su regulación. Por ello, la EFSA en su declaración, subraya la necesidad de investigar la toxicocinética y toxicidad de estos plásticos, así como, evaluar la posible formación de NPs a partir de MPs dentro del sistema digestivo (EFSA, 2016).

No obstante, la creciente preocupación por la presencia de MPs y NPs en la cadena alimentaria ha impulsado estudios destinados a la estimación de la exposición humana a estas partículas. Se ha desarrollado un modelo de evaluación de la ingesta basado en el consumo alimentario. Este modelo integra datos de concentración de MPs y NPs reportados en los diferentes alimentos, según la literatura científica, junto con los patrones de consumo alimentario extraídos de la base de datos de la FAO y de la OMS. De esta manera, se calcula la tasa estimada de ingestión de MPs a través de la dieta humana (ERIA, 2023).

Algunos resultados como los de Schwabl et al. (2019), que detectaron MPs en muestras fecales de ocho individuos seleccionados al azar, lo que sugiere una exposición generalizada en la población. Sin embargo, al estimar la ingesta diaria de MPs, se observa una elevada variabilidad en las cifras, atribuida principalmente a la heterogeneidad en los patrones de consumo alimentario entre individuos, especialmente en la relación con productos de alto contenido en

partículas plásticas como el pescado y moluscos, y a las limitaciones actuales para detectar y cuantificar NPs (EFSA, 2016).

Aunque la evidencia actual aún es insuficiente para establecer un valor de ingesta diaria tolerable (IDT) o una dosis de referencia aguda, se han considerado los valores toxicológicos de referencia de algunos de los aditivos presentes en los microplásticos, también peligrosos para la salud humana (ERIA, 2023). Por ejemplo, se ha establecido una IDT de 4 µg/kg de peso corporal por día para el BPA (FAO, 2023) y un margen de exposición (MOE) de referencia de 1 µg/kg de pc/día para los HAPs (AESAN, 2023b).

Esta falta de estándares específicos refleja la necesidad urgente de definir límites claros y proteger la salud pública ante la exposición continua y acumulativa.

- Presencia de MPs y NPs en alimentos

Tabla 2. Resumen de estudios sobre la presencia de MPs y NPs en diversos alimentos.

Alimento	Nivel de contaminación por MPs (valor promedio)	Especificaciones	Referencias
Productos de origen marino			
Mejillón (<i>M. galloprovincialis</i>)	3,8 partículas/individuo	Es un alimento con una alta frecuencia de uso como especie bioindicadora en estudios de contaminación. Su nivel de contaminación varía según la zona de cultivo y el origen, siendo inferior en acuicultura en comparación con los salvajes.	Mercogliano et al., 2021; Vitali et al., 2023
Ostras (<i>C. gigas</i>)	10,95 partículas/individuo	Son ampliamente estudiadas ya que también son utilizadas como bioindicadores. Su contaminación depende de la procedencia, origen, depuración y especie.	Baechler et al., 2020; Vitali et al., 2023
Pescado (<i>Scomber scomber</i>)	0,7 partículas/ g	La caballa es el pescado más reportado, con presencia de MPs en el tracto gastrointestinal, branquias, y músculos dorsales. Existe una falta de información de otras especies consumidas por humanos	Barboza et al., 2020; Vitali et al., 2023
Alimentos de origen terrestre			
Pollo	1,5 - 6,1 partículas/individuo	Analizado en el sistema digestivo de las aves (buche y molleja)	Lwanga et al., 2017; Vitali et al., 2023
Frutas y vegetales (Brócoli, lechuga, manzana y pera)	1- 5,1 partículas/ g	El valor más alto de contaminación es en la lechuga (5,1). La contaminación depende del suelo agrícola, la zona de cultivo y el agua de riego.	Oliveri et al., 2020
Sal	Sal marina: 675 partículas/Kg	Su contaminación varía según el origen, tipo de sal (mesa, roca, marina),	Kim et al., 2018; Vitali et al., 2023

	Sal de roca: 38 partículas/Kg	el proceso de producción y el agua utilizada.	
Miel	54 partículas/ L	Su contaminación varía según el tipo de miel analizada (industrial o artesanal), su origen y la contaminación de la zona de producción.	Diaz-Basantes et al., 2020; Vitali et al., 2023
Azúcar	217-560 partículas/Kg (en forma de fibras)	Su contaminación también depende del grado de refinado, siendo mayor en el azúcar sin refinar (560)	Liebezeit G. and Liebezeit E., 2013; Vitali et al., 2023
Agua y bebidas			
Agua	Agua de grifo: 0,06 partículas/L Agua embotellada: 140 partículas/L	Contaminación muy variable según origen, tipo (agua mineral, de grifo o embotellada), zona, etapa del sistema y material del envase.	Dalmau-Soler et al., 2021; Vitali et al., 2023
Cerveza	62-117 partículas/L	Su contaminación varía según el tipo de producción (artesanal o industrial), siendo menor en la cerveza industrial (62).	Diaz-Basantes et al., 2020; Vitali et al., 2023
Vino	2563 partículas/ L	Esta alta contaminación podría deberse al uso de tapones de polietileno en el envasado del vino.	Prata et al., 2020a

Diversas investigaciones han evidenciado la presencia de MPs en productos de origen marino, como peces, moluscos y crustáceos. En la mayoría de las especies de pescado destinadas al consumo, los órganos viscerales y las branquias, principales reservorios de las partículas, son eliminados antes del consumo, lo que limita su exposición. No obstante, ciertos estudios han identificado la presencia de estas partículas en el tejido muscular comestible. En el caso de los moluscos y bivalvos, los cuales se consumen enteros, se han registrado concentraciones elevadas, convirtiéndose en matrices alimentarias de relevancia en la investigación sobre la exposición humana a MPs y NPs (AESAN, 2019).

También se ha detectado la presencia de MPs en productos como la sal, la miel y el azúcar (tabla 2). En el caso de la sal, su contaminación está relacionada con la contaminación del medio marino. La miel y el azúcar presentan partículas en forma de fibras, posiblemente debido a factores locales como el grado de contaminación ambiental en la zona de recolección o a las técnicas de manejo post recolección. Un estudio de Diaz-Basantes et al. (2020) encontró una mayor concentración de MPs en mieles artesanales que en industriales. Además, se ha demostrado que las abejas melíferas son capaces de recoger MPs del aire, que se adhieren a su cuerpo, lo que explicaría su presencia en estos productos (Edo et al., 2021).

La contaminación por MPs no se limita únicamente a alimentos sólidos, también está presente en bebidas y fuentes de agua potable. Se han encontrado un promedio entre 50 y 100 partículas por litro en productos como la leche, bebidas carbonatadas y cerveza (Diaz-Basantes et al., 2020). Sin embargo, en el caso del agua mineral embotellada, tanto en botellas de plástico

reutilizables como en botellas de un solo uso, e incluso en botellas de cristal, se encontraron hasta 7000 partículas por litro (Ossmann et al., 2018), lo que sugiere posibles problemas en los procesos de filtrado y embotellado.

En menor medida, los NPs son capaces de atravesar las raíces de las plantas y alcanzar tallos y hojas de vegetales comestibles, lo que podría convertir a estos productos en otro grupo de alimentos con presencia de partículas plásticas (Vitali et al., 2023).

Cabe destacar que los métodos analíticos utilizados para detectar la presencia de NPs aún no han sido lo suficientemente desarrollados como para confirmar de manera precisa su presencia y acumulación en la cadena alimentaria (Bergmann, Gutow y Klages, 2015).

5.1.8. Aspectos legales y estrategias de prevención y control

En respuesta a esta problemática, se han implementado distintas políticas y regulaciones a nivel internacional. Destaca la reciente modificación en 2023 del Reglamento (CE) 1907/2006 (REACH) que restringía el uso intencionado de MPs en productos como cosméticos. Asimismo, y de acuerdo con la Directiva (UE) 2019/904 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente, esta medida se presenta como una estrategia sirve para fomentar la reducción del uso de plásticos convencionales y su sustitución por alternativas sostenibles. En el caso de España, la Ley 7/2022 sobre Residuos y Suelos Contaminados, incorpora medidas específicas para prevenir la liberación de MPs al medio ambiente (Ley 7/2022).

A nivel mundial, se han puesto en marcha numerosas iniciativas educativas orientadas a concienciar sobre la eliminación de plásticos y la mitigación de los MPs, con el objetivo de combatir la contaminación ambiental. Se han creado campañas específicas contra los microplásticos y la macrobasura, buscando sensibilizar a la población sobre su impacto y conseguir una reducción efectiva en su uso y dispersión. Entre estas iniciativas destaca “*Stop!MicroWaste*” desarrollada en Alemania, que promueve la educación ambiental y se centra en comprender el problema de los MPs para crear soluciones sostenibles y motivar a otros a actuar. La estrategia “*The plastic Tide*” combina acciones comunitarias como la limpieza de playas por voluntarios y el uso de tecnología para mapear y clasificar residuos.

También existen iniciativas científicas en desarrollo como, el proyecto “PlastiSea” creado por la Fundación para la Investigación Industrial y Técnica de Noruega, que tiene como objetivo reemplazar los envases de plástico convencionales por un nuevo material sostenible y respetuoso con el medio, desarrollado a partir de algas pardas (SINTEF, 2020). Las empresas también pueden desempeñar un papel clave en la mitigación de los MPs y NPs mediante la

adopción de estrategias sostenibles. Entre ellas se encuentra la reformulación de productos para eliminar los MPs añadidos intencionalmente, incorporar envases biodegradables y sostenibles e impulsar políticas “plastic free” eliminando plásticos en etiquetas, embalajes o materiales. Además, pueden unirse a campañas como “Mares Limpios” promovida por la UNEP, así como comprometerse con el Compromiso Global por la Nueva Economía del Plástico (UNEP, 2023).

Algunas de las estrategias recientes se enfocan en la aplicación métodos de degradación diseñados específicamente para la eliminación de MPs en los entornos acuáticos. En el estudio de Tong et al. (2024), se proponen diversas técnicas basadas en procesos físicos, químicos y biotecnológicos como la fotodegradación, la oxidación avanzada y el uso de enzimas específicas, para reducir la carga plástica en cuerpos de agua. Esto representa una vía prometedora para la mitigación ambiental causado por MPs y NPs. La utilización de bacterias para la degradación de MPs se encuentra actualmente en investigación. Sin embargo, su principal limitación es la lentitud del proceso, lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas a optimizar las condiciones y mejorar su eficiencia (Anand et al., 2023).

Actualmente, las tecnologías de eliminación no logran alcanzar una eficacia del 100 %, lo que ha impulsado la investigación en soluciones innovadoras. Entre estas se encuentran la detección mediante inteligencia artificial, sistemas avanzados de filtración, procesos de oxidación y el desarrollo de bioplásticos. Todas estas soluciones aún están en desarrollo y requieren una mayor investigación para su aplicación a gran escala.

Por otro lado, la mayoría de los estudios actuales se centran en las aguas más superficiales dejando inexplorado el impacto de los MPs y NPs en los ecosistemas marinos profundos. Esto hace que surja la necesidad de crear nuevos equipos de investigación que aborden estos vacíos y encontrar soluciones adaptadas.

Es fundamental, además, impulsar a nivel global estudios analicen que evalúen con mayor profundidad la interacción de las partículas microplásticas con las diferentes especies y sus posibles efectos a largo plazo en la salud humana. También se requiere una mejora de los sistemas de filtrado en las plantas de tratamiento de las aguas potables y residuales para minimizar la exposición a estos contaminantes.

Finalmente, algunos países han comenzado a implantar el incentivo a personas que adoptan buenas prácticas en la gestión de residuos y en la reducción del consumo de plásticos. Esto podría motivar a la ciudadanía y avanzar hacia una sociedad más comprometida con la sostenibilidad (Kumar et al., 2025).

5.2 Objetivo 2: Ventajas e inconvenientes de los métodos analíticos disponibles para la detección y cuantificación de micro y nanoplásticos en los alimentos

5.2.1. Metodología general para el análisis de MPs y NPs

Para la detección y cuantificación de MPs y NPs en los alimentos se requiere de un enfoque analítico compuesto por varias etapas interconectadas.

1. Pretratamiento inicial de la muestra:

Ajuste previo según el tipo de matriz (biológica, acuosa o sólida) para facilitar los pasos analíticos posteriores.

2. Extracción:

Separación de las partículas plásticas del resto de la matriz. Se eliminan los componentes orgánicos e inorgánicos sin dañar los plásticos. El procedimiento suele seguir una secuencia específica: digestión u oxidación, separación por densidad y filtración (posible uso de vacío o centrifugación).

3. Identificación:

Confirmación de MPs y NPs utilizando técnicas espectroscópicas, microscópicas o térmicas que permiten obtener información sobre su morfología, tamaño y composición química del material.

4. Cuantificación:

Determinación de la cantidad de MPs y NPs presentes en la muestra, ya sea mediante el conteo de partículas individuales o la medición de masa total. La técnica elegida dependerá del tipo de muestra y puede complementarse con modelos de calibración o patrones de referencia.

- Pretratamiento inicial de la muestra

La eliminación de la materia orgánica natural es un paso esencial para poder extraer los MPs y NPs presentes en las matrices alimentarias, además de reducir las posibles interferencias de otras partículas que podrían comprometer la fiabilidad de los resultados. Debido a la gran diversidad de matrices alimentarias es necesario adaptar los métodos de preparación de muestra antes de seleccionar la técnica de análisis más adecuada (Süssmann et al., 2021).

Antes de la preparación de la muestra, en algunos alimentos es necesario realizar una pre-separación, donde se selecciona y aísla la parte relevante del producto para el análisis. En el caso de productos como el pescado o los moluscos, se realiza una disección de los tejidos musculares o del tracto gastrointestinal. En tipo de productos como bebidas se utiliza un filtro de malla de 500 micrómetros para separar el material grueso de la muestra (Sarkar, Diab y Thompson, 2023).

- Extracción y separación

El proceso de extracción de los MPs en las técnicas de pretratamiento sigue un orden específico: en primer lugar, se realiza digestión u oxidación, luego se lleva a cabo la separación por densidad y finalmente, se procede a la filtración, que puede realizarse mediante un sistema a vacío. Según Sarkar, Diab y Thompson (2023), la utilización de ácidos fuertes como KOH en la digestión no afecta a la estabilidad de las partículas, lo que permite repetir el proceso sin comprometer su integridad. En la Tabla 3 se presentan distintas técnicas de separación utilizadas aplicadas para la extracción de MPs y NPs y su uso en diversas matrices alimentarias.

Tabla 3. Técnicas de separación y extracción de MPs y NPs en alimentos.

Técnica de separación	Especificaciones	Ejemplos de uso	Referencia
Digestión y oxidación			
Digestión alcalina y enzimática	Hidróxido de potasio (KOH) o de sodio (NaOH) combinado con enzimas como pepsina, proteína K, lipasa o celulasa.	Pescado, moluscos y tejido blando de crustáceos.	Süssmann et al., 2021; Mahapatra et al., 2024
Digestión ácida	Solventes ácidos como ácido nítrico, perclórico, clorhídrico o sulfúrico.	Pescado, moluscos, sales o productos deshidratados como la leche en polvo.	Benetti et al., 2021
Oxidación química	Peróxido de hidrógeno concentrado al 35% (H ₂ O ₂) para la descomposición de materia orgánica. Oxidación acelerada con reactivos de Fenton: combinación del peróxido con FeSO ₄	Bebidas como vino blanco o agua.	Prata et al., 2021; Sarkar, Diab y Thompson, 2023; Mahapatra et al., 2024
Extracción por gradiente de densidad			
Separación por densidad o flotación	Uso de soluciones densas como NaCl concentrada, cloruro de zinc o NaI (yoduro de sodio), comúnmente utilizada para una segunda separación, seguido de la decantación de las partículas.		Mahapatra et al., 2024
Filtración y centrifugación			
Filtros de fibra de vidrio	Separación de las partículas con un tamaño de poro de 1,2 µm. Se puede combinar con una filtración al vacío para mejorar la eficiencia del flujo y de la filtración (especialmente en los de densidad)		Süssmann et al., 2021
Filtración con suspensión	Uso de yoduro de sodio para mantener los MPs en suspensión, seguido de la separación de las partículas mediante un papel de filtro de nitrato de celulosa de 0,45 µm.	Para alimentos como sal, pescado o agua.	Naidu et al., 2022
Filtración para NPs y sonicación	Uso de filtros con poros ultrafinos de 0,02 µm para NPs, combinado con sonicación (vibración ultrasónica) para facilitar la liberación de los NPs atrapados en el filtro.		Li et al., 2024
Centrifugación	Puede realizarse tras la filtración para una mejor extracción de los MPs.		

5.2.2. Métodos de análisis para la identificación y cuantificación de MPs y NPs

La amplia variedad de tipos de plástico presentes en los productos de consumo modernos supone un reto considerable para el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de microplásticos. Actualmente, no existen métodos oficialmente reconocidos para este fin (Mérieux, 2022).

Es esencial contar con métodos analíticos validados que permitan monitorear de manera precisa la exposición humana a MPs y NPs. Estos métodos deben ser capaces de analizar productos de consumo caracterizados por matrices orgánicas e inorgánicas complejas.

En los últimos años, el laboratorio ECSIN (Centro Europeo para el Impacto Sostenible de la Nanotecnología) ha desarrollado y validado técnicas analíticas para la detección de MPs en diferentes alimentos entre ellos agua, fórmulas infantiles, bebidas, sales, productos pesqueros, cerveza, té y café. Los métodos validados permiten el análisis de las muestras, garantizando resultados representativos y confiables. Gracias a ello, el laboratorio ha acumulado una sólida experiencia en la detección de estas partículas, pudiendo contribuir significativamente a la discusión y desarrollo de protocolos estandarizados a nivel internacional (Bernardi et al., 2021; Institut Kirchhoff, 2022)

- Métodos analíticos para la identificación

En la Tabla 4 se detallan los métodos analíticos disponibles utilizados para la identificación de MPs y NPs, ofreciendo una visión integral de las herramientas disponibles para este tipo de análisis.

Tabla 4. Métodos analíticos para la identificación de MPs y NPs en alimentos.

Método analítico	Tipo de partícula	Descripción y aplicación	Referencia
Microscopía			
Microscopía óptica	MPs	Identificación y caracterización del tamaño, forma y color a través de microscopia y tinción. Aplicación: mariscos, sal de mesa, miel, azúcar, agua y cerveza.	Vitali et al., 2022; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	MPs y NPs	Identificación y caracterización del tamaño, forma y composición química de los plásticos a través de un haz de electrones generando imágenes con gran resolución de la muestra. Aplicación: sal, mariscos agua potable.	Vitali et al., 2022; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
Microscopía electrónica de transmisión (TEM)	MPs y NPs	Identificación y caracterización de los plásticos a través de un haz de electrones con una resolución de imagen mayor que el MEB. Aplicación: diversos alimentos.	Mast et al., 2020; Sohail et al., 2023

Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)	MPs y NPs	Detección e identificación de microplásticos mediante el escáner de la superficie de la muestra. Aplicación: mejillones, agua potable.	Sohail et al., 2023
Espectroscopía			
Espectroscopía de Imágenes Hiperespectrales (HIS)	MPs (<200 µm)	Identificación de MPs mediante una cámara que recoge imágenes espectrales. Aplicación: pescado y aguas.	Gao, Md. Shaarani y Mohd Noor, 2023
Espectroscopía de infrarrojo con microscopía de fuerza atómica (AFM-IR)	NPs	Combina la AFM con infrarrojos y mediante la irradiación de la muestra se obtiene un espectro de absorción.	Li et al., 2018; Merzel et al., 2020; Vitali et al., 2022
Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)	MPs (> 10-20 µm)	Identificación de MPs y su composición molecular y química. Se utiliza una luz infrarroja para iluminar las muestras y los espectros de absorbancia o transmisión se comparan con muestras conocidas de referencia. Aplicable en aguas, pescado, marisco	Su et al., 2019; Nan et al., 2020; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
µFTIR	MPs (<20 µm) y NPs	Versión más microscópica de FTIR. Aplicación: sal de mesa, agua, leche, refrescos y moluscos o crustáceos (ostras y gambas)	Bernardi et al., 2021; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
Espectroscopía Raman	MPs (<20 µm) y algunos NPs	Identificación de los plásticos y su composición polimérica mediante una técnica vibracional al hacer incidir un láser monocromático. Aplicación: aguas, pescado, sal.	Wagner et al., 2017; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
µRaman	MPs (hasta 1 µm)	Versión más microscópica de Raman. Aplicable en aguas de consumo, alimentos y bebidas	Fu et al., 2020
Espectroscopía Infrarroja con Láser de Cascada Cuántica (QCL-IR)	MPs	Detección e identificación de MPs a través de un espectro de análisis. Aplicable en aguas naturales	Vitali et al., 2022
Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X	MPs (<100 µm)	Identificación de MPs en la superficie de la muestra. Aplicación: bolsas de té	Hernandez et al., 2019; Sohail et al., 2023
Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	MPs y NPs	Identificación y caracterización estructural mediante un campo magnético que genera una señal.	Sohail et al., 2023
Dispersión de luz			
Dispersión Dinámica de Luz (DLS)	MPs y NPs	Identificación y caracterización mediante dispersión de luz. Aplicación aguas de consumo y alimentos líquidos o en alimentos de origen marino como ostras y crustáceos.	Fu et al., 2020
Dispersión de Taylor (TDA) y detector UV-vis	MPs y NPs (< 0,02 - 0,5 µm)	Identificación de microplásticos en matrices complejas mediante un flujo laminar y su detección con el espectro de luz ultravioleta-visible.	Sohail et al., 2023
Técnicas térmicas			
Análisis termogravimétrico	MPs	Identificación de MPs a través de una pérdida de masa de la muestra y combinado con un espectrofotómetro FTIR. Aplicable en alimentos como la leche, café molido o agua.	Dang et al., 2024

- Métodos analíticos para la cuantificación

La Tabla 5 muestra los diferentes métodos para la cuantificación de MPs y NPs, con el objetivo de comparar su aplicabilidad.

Tabla 5. Métodos analíticos para la cuantificación de MPs y NPs en alimentos.

Método analítico	Tipo de partícula	Descripción y aplicación	Referencia
Microscopía			
Microscopía de fluorescencia	MPs Y NPs (dependiendo de la resolución del microscopio)	Cuantificación de MPs y NPs con el uso de diferentes tinciones. Aplicable en agua embotellada, vino o bebidas.	Prata et al., 2020b; Sohail et al., 2023
Microscopía estereoscópica	MPs	Cuantificación de MPs con un estereomicroscopio trinocular. Aplicable en alimentos como pescado y sal.	Song et al., 2015; Palanisamy et al., 2024
Dispersión de luz			
Fraccionamiento por flujo asimétrico de campo-flujo combinado con dispersión de luz multi-ángulo (AF4- MALS)	MPs y NPs	Identificación, cuantificación y caracterización de las partículas plásticas mediante un flujo de líquido y una membrana semipermeable y detectado por la dispersión de luz multi-ángulo (MALS). Aplicación en pescado.	Gigault et al., 2017; Correia et al., 2018; Sohail et al., 2023
Análisis de seguimiento de nanopartículas (NTA)	NPs	Cuantificación de las partículas a través de un haz de luz y un microscopio con cámara de alta sensibilidad. Aplicación en aguas y alimentos líquidos (matriz acuosa) o en alimentos de origen marino como las ostras.	Fu et al., 2020; Chang et al., 2022
Técnicas térmicas			
Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	MPs	Cuantificación y caracterización de los MPs y sus aditivos. Utiliza cambios de temperatura para su determinación y comportamiento.	Sohail et al., 2023; Mahapatra et al., 2024
Cromatografía de gases por pirólisis acoplada a espectrometría de masas (Py-GC-MS)	MPs y NPs	Cuantificación de los plásticos. Aplicable en agua, pescado, moluscos, bivalvos y productos agrícolas como el arroz.	Fischer y Scholz-Bottcher, 2017; Dessì et al., 2021; Gao, Md. Shaarani y Mohd Noor, 2023

5.2.3. Ventajas e inconvenientes de los métodos analíticos

En la tabla 6 se recogen las principales ventajas e inconvenientes referenciadas en la bibliografía de los diferentes métodos de identificación y cuantificación de MPs y NPs en matrices alimentarias.

Tabla 6. Análisis comparativo de los métodos de identificación y cuantificación de MPs y NPs.

Método de análisis	Ventajas	Inconvenientes	Aplicabilidad en alimentos	Referencia
Métodos de identificación				
Microscopía óptica	Detección rápida y fácil identificación de partículas	Posibilidad de confundir polímeros con materiales	Media	Frère et al., 2016;

	no plásticas; bajo coste y no destructivo	inorgánicos; limitación en la detección de NPs; necesario un segundo análisis de verificación		Sarkar, Diab y Thompson, 2023
MEB	No destructivo, fácil identificación gracias a las imágenes de alta resolución.	La obtención de imágenes es más costosa que con los microscopios ópticos. Presenta interferencias en la medición por efectos de carga. La cuantificación por este método es costosa y difícil.	Media	Vladár y Hodoroba, 2020
TEM	No destructivo; imagen de alta resolución (0,5 nm) y sensibilidad. Diferenciación entre partículas plásticas y minerales.	Alto coste del equipo, análisis laborioso y difícil cuantificación. Presenta interferencias en la medición por efectos de carga.	Alta	Mast et al., 2020; Sarkar, Diab y Thompson, 2023
AFM	No destructivo, imágenes de alta resolución y detecta partículas tanto en matrices acuosas como secas.	Requiere mucho tiempo de análisis, el desplazamiento de las partículas genera interferencias.	Media	Bitler et al., 2018
HIS	No destructivo, tiempo de análisis rápido; captura imágenes de áreas grandes y específicas sin necesidad de selección. Ecológico	Rango espacial reducida y solo puede enfocarse el rango de longitudes onda entre 400-2500 nm. Necesarios datos de referencia en la literatura para el análisis.	Alta	Faltynkova, Johnsen and Wagner 2021; Gao, Md. Shaarani y Mohd Noor, 2023
AFM-IR	Identificación y mapeo químico a nanoescala en las superficies de las muestras.	No adecuado para MPs de gran tamaño, la absorción por IR reduce la sensibilidad. Errores en el seguimiento (picos, daños, desgaste); lento análisis y recolección de datos	Alta	Fu et al., 2020
FTIR	Confiable, rápido y no destructivo; capacidad de mapear una superficie de gran tamaño de una muestra Ecológico	Equipo costoso; la resolución está limitada por la longitud de onda de la radiación; no puede haber presencia de agua. Lenta recolección de datos. No detecta NPs a bajas concentraciones.	Alta	Sarkar, Diab y Thompson, 2023; Gao, Md. Shaarani y Mohd Noor, 2023
μFTIR	Detección de las partículas más pequeñas y NPs, capacidad de análisis de MPs transparentes, gruesos y opacos. Alta resolución espacial y gran potencial para muestras complejas.	Método no destructivo, equipo costoso, lenta recolección de datos y no puede haber presencia de agua.	Alta	Fu et al., 2020
Raman	Alta sensibilidad y resolución espacial; no destructivo;	Puede verse afectada por aditivos, tintes, impurezas o fluorescencia; adquisición de	Alta	Cui et al., 2022;

	puede analizar soluciones y tolera la presencia de agua. Ecológico	datos lenta; alto coste del equipo; interpretación de los datos puede ser difícil sin estándares.		Sarkar, Diab y Thompson, 2023
μRaman	No destructivo; análisis de las muestras en solución, gaseosas, sólidas y en forma de cristal es posible, detección de las partículas más pequeñas.	Alto coste del equipo y método de análisis lento, posible interferencia con pigmentos.	Alta	Wang et al., 2024
QCL-IR	Alta precisión de análisis, gran campo de visión, amplio rango de longitudes de onda y escaneo y procedimiento rápido.	Necesario un mayor desarrollo del equipo para la detección de partículas más pequeñas, tiempos largos para los MPs <30 μm y posible subestimación de partículas plásticas en las muestras más complejas. Aún no ha sido probado en alimentos	Baja	Primpke, Godejohann y Gerds, 2020
Fotoelectrónica de rayos X	No destructivo, valido para muestras con bajas concentraciones de MPs.	Restricción para los NPs, recolección de datos lenta.	Alta	Simon et al., 2022
RMN	Bajo coste del equipo, aplicable para muestras en solución.	Baja sensibilidad, requiere mucho tiempo de medición.	Alta	Deleanu and Paré, 1997
DLS	Rápido, fácil de usar y gran precisión en la detección de agregados; estimación reproducible y confiable de la distribución	No diferencia entre materiales, no adecuado para las partículas que sedimentan por gravedad. Solo mide el tamaño promedio.	Alta en muestras líquidas Baja en medios complejos	Fu et al., 2020
TDA y detector UV-vis	No destructivo, no es afectada por la polidispersidad, adecuado para NPs	El tamaño de partícula está limitado por el capilar del equipo utilizado.	Alta	Chamieh et al., 2017
Análisis termogravimétrico	Alta precisión y datos confiables; no es necesario el aislamiento, adaptabilidad a diferentes matrices alimentarias	Técnica destructiva, datos complejos, calibración específica para cada tipo de matriz, baja sensibilidad en concentraciones extremadamente bajas	Alta	Huang et al., 2023; Dang et al., 2024
Métodos de cuantificación				
Fluorescencia	Método de análisis fácil, detecta partículas transparentes y permite su visualización inmediata mediante imágenes 3D.	Solo adecuada con para partículas fluorescentes (necesaria tinción). Luz ultravioleta puede ser dañina y tóxica; los aditivos pueden interferir en la fluorescencia.	Media	Fang et al., 2023
Estereoscópica	No destructivo, análisis rápido y simple	Análisis de la concentración impreciso	Media	Luo et al., 2022

AF4- MALS	No es necesario una preconcentración de las muestras, aplicable a NPs de diferentes materiales, capacidad de análisis en muestras acuosas	Complejidad operativa, posibilidad de interacción de las partículas con el equipo produciendo interferencias	Alta	Battistini et al., 2021; Li et al., 2024
NTA	Precisión en la detección de agregados, alta sensibilidad, fácil de usar.	No adecuado para partículas polidispersas o con tamaños muy similares.	Media	Fu et al., 2020
DSC	Indica si existe cristalinidad de las partículas y distingue entre polímeros.	Método destructivo, no identifica NPs en matrices complejas y requiere un largo tiempo de análisis.	Media	Juárez et al., 2022
Py-GC-MS	Identificación de los aditivos y de cuantificación de la masa de MPs. Ecológico	Destructivo (puede destruir o alterar las partículas plásticas), no es posible la cuantificación de muestras grandes y con volumen limitado, complejidad y lentitud del proceso.	Alta	Gnoffo y Frache, 2023; Li et al., 2024

5.3 Objetivo 3: Avances científicos en el desarrollo de nuevos métodos de análisis

En los últimos años, los métodos y herramientas tradicionales para la detección y cuantificación de MPs y NPs han sido ampliamente utilizados, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. No obstante, el avance de la tecnología ha dado lugar a nuevos enfoques que emplean instrumentos más accesibles y fáciles de usar, lo que podría hacer estos análisis más eficientes y precisos.

Entre estos métodos innovadores, se encuentran los biosensores, capaces de identificar MPs y clasificar diferentes tipos de polímeros en muestras contaminadas sin necesidad de pretratamiento. Además, estos sensores se agrupan según su tipo de transductor en electroquímicos, térmicos u ópticos. Entre estos últimos, técnicas como la espectroscopía Raman aumentada por superficie (SERS), la resonancia de plasmones de superficie (SPR) y los interferómetros han demostrado los mejores límites de detección (Rivera-Rivera et al., 2025). Algunos enfoques colorimétricos basados en cambios de color inducidos por SPR han permitido detectar NPs (Hong et al., 2022), y otros como los biosensores colorimétricos en tiras tipo test rápido se utilizan para detectar PET (Behera et al., 2023). Asimismo, sensores de fluorescencia han sido diseñados para identificar aditivos de los MPs mediante variaciones en la intensidad de la fluorescencia o de la longitud de onda, como el biosensor propuesto por Dierkes et al. (2022), capaz de identificar productos de degradación emitiendo fluorescencia.

Otro enfoque prometedor para la detección es el uso de péptidos que se unen con alta afinidad a los MPs como el PE y PP. Un estudio de Dhoriyani et al. (2025) propone el uso de péptidos como biosensores para la identificación de MPs en muestras. Estos se combinan con técnicas de

optimización cuántica (QA) y políticas proximales para mejorar la identificación de secuencias de péptidos, lo que aumenta su precisión de análisis.

Las tecnologías de imagen óptica también han emergido como una solución para la monitorización no invasiva de MPs y NPs. Huang et al. (2025) han desarrollado un dispositivo portátil basado en holografía polarizada computacional, que es capaz de detectar y caracterizar MPs en medios líquidos altamente dispersivos, como leche o agua. Este sistema supera las limitaciones de la microscopía tradicional al permitir una mayor precisión de análisis con la generación de imágenes en 3D.

Se han optimizado procesos de tomografía computarizada para el análisis de MPs en productos como el pescado y tejidos humanos, siendo útil incluso para el monitoreo en el tracto gastrointestinal y comportamiento post-digestión. Este método de análisis permite generar imágenes en 3D que distinguen a los MPs según sus densidades y formas (Parobková et al., 2025).

Además, se ha desarrollado soluciones de bajo coste que amplían las posibilidades de monitoreo en contextos con recursos limitados. Un ejemplo es el sistema microscópico acoplado a un teléfono móvil, utilizando una lente esférica de zafiro acoplada a la cámara del teléfono. Este dispositivo es capaz de capturar partículas de hasta 20 μm , permitiendo una evaluación preliminar precisa del tamaño de MPs en muestras de agua potable (Karki et al., 2024). Se han propuesto nuevos enfoques que integran tecnologías de microondas y sensores avanzados con geometría 3D de electrodos, permitiendo la caracterización de MPs sin requerir métodos químicos. Estas soluciones permiten análisis rápidos, en tiempo real, y facilitan su aplicación in situ gracias al diseño portátil de los dispositivos (Alatas et al., 2025).

Por otro lado, los métodos manuales tradicionales para el reconocimiento, detección e identificación de MPs presentan limitaciones en cuanto a precisión y fiabilidad. Ante esto y aprovechando el avance de la inteligencia artificial (IA) se ha impulsado el desarrollo de herramientas como el análisis de imágenes o la espectroscopía asistida por IA, que permiten una detección eficiente de las partículas plásticas incluso en matrices alimentarias más complejas (Jin et al., 2024).

6. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

- Las evidencias científicas de la detección de micro y nanoplásticos en una gran variedad de alimentos, junto con su persistencia en el medio ambiente y la capacidad de

acumulación de otros contaminantes, refuerza la necesidad de crear un marco legislativo específico e implementar programas de vigilancia permanente de la cadena alimentaria.

- La armonización de los métodos de muestreo, identificación, detección y cuantificación de microplásticos constituye un pilar básico para poder avanzar en la evaluación del riesgo y en la mitigación y control de la contaminación ambiental y alimentaria.
- El desarrollo de tecnologías avanzadas como el uso de biosensores o de la inteligencia artificial, está revolucionando la capacidad de identificar microplásticos con una mayor precisión y rapidez para poder aplicar medidas de control más eficaces.
- A pesar de los progresos, persisten importantes incertidumbres científicas, lo que subraya la necesidad de seguir investigando para mitigar el impacto de los plásticos en el medio ambiente y en la salud humana.

Conclusions

The conclusions of this study are as follows:

- Scientific evidence confirming the presence of micro- and nanoplastics in a wide range of foods, combined with their environmental persistence and their capacity to accumulate other contaminants, reinforces the need to establish a specific legislative framework and implement continuous monitoring programs across the food chain.
- The harmonization of sampling, identification, detection, and quantification methods for microplastics is a fundamental pillar for advancing risk assessment, as well as for mitigating and controlling environmental and food contamination.
- The development of advanced technologies, such as the use of biosensors and artificial intelligence, is revolutionizing the ability to identify microplastics with greater precision and speed, enabling the implementation of more effective control measures.
- Despite these advances, significant scientific uncertainties remain, underscoring the need for continued research to mitigate the impact of plastics on the environment and human health.

7. Valoración personal

La realización de este Trabajo de Fin de Grado, en modalidad de revisión bibliográfica, me ha permitido profundizar en un problema emergente de gran relevancia como es la presencia de los microplásticos y nanoplasticos en los alimentos. Este proceso de búsqueda de información ha favorecido una mayor concienciación sobre su impacto en la salud y en el medio ambiente, así como su importancia de su análisis. La comparación de enfoques metodológicos, la identificación de resultados contradictorios entre estudios y los vacíos en la literatura han

reforzado mi capacidad para interpretar la información con un análisis constante y de forma reflexiva. La elaboración del trabajo me ha permitido perfeccionar mis competencias comunicativas, especialmente en la estructuración y expresión clara y coherente. Con este proyecto aspiro a aportar una base útil para las futuras investigaciones y contribuir a una mayor sensibilización sobre los riesgos asociados a este contaminante global.

8. Bibliografía

El presente trabajo fin de grado se ha realizado bajo la modalidad de revisión bibliográfica y, por tanto, el número de citas utilizadas es muy numeroso. Es por ello por lo que incluimos las mismas en en anexo que acompaña el trabajo que presentamos.