



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



# Trabajo Fin de Máster en

## Calidad, Seguridad y Tecnología de los Alimentos

Análisis de micro y nanoplásticos como riesgo emergente para la seguridad alimentaria

Analysis of micro and nanoplastics as a Food Safety emerging risk

Autor/es

Laura Cort Roig

Director/es

M<sup>a</sup> Pilar Conchello Moreno  
Antonio Herrera Marteache

Facultad de Veterinaria

2020-2021

---

# Índice

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	1
<b>1. Introducción</b> .....	2
<b>2. Justificación y objetivos</b> .....	3
<b>3. Metodología</b> .....	3
<b>4. Resultados y discusión</b> .....	6
<b>4.1. Evaluación del riesgo</b> .....	6
4.1.1. Identificación del peligro (micro y nanoplásticos) .....	6
4.1.2. Caracterización del peligro .....	11
4.1.3. Evaluación de la exposición .....	21
4.1.4. Caracterización del riesgo emergente .....	30
<b>4.2. Gestión del riesgo</b> .....	35
4.2.1. Medidas para limitar las fuentes y las descargas al medio ambiente.....	35
4.2.2. Medidas para eliminar los micro y nanoplásticos del medio ambiente .....	37
4.2.3. Alternativas válidas al uso de productos plásticos.....	38
4.2.4. Monitorización e investigación.....	39
4.2.5. Regulación y marco legal .....	40
4.2.6. Estandarización de métodos analíticos para la detección y cuantificación de nano y microplásticos en el medio ambiente, alimentos, tejidos humanos y sangre .....	41
<b>4.3. Comunicación del riesgo</b> .....	41
<b>5. Conclusiones</b> .....	43
<b>6. Bibliografía</b> .....	44

## Índice de acrónimos y abreviaturas

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene / Acrilonitrilo Butadieno Estireno

ACSA: Agència Catalana de Seguretat Alimentària / Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición

AMIMP: Average Mass of Individual Microplastic Particle / Masa Promedio de Partículas Microplásticas Individuales

ANMP: Average Number of Microplastic Particles / Número Medio de Partículas Microplásticas

BFR: Brominated Flame Retardants / Retardantes de Llama Bromados

CE: Comisión Europea

CFIA: Canadian Food Inspection Agency / Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos

CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals / Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales

DLS: Dynamic Light Scattering / Dispersión Dinámica de Luz

ECHA: European Chemicals Agency / Agencia Europea de Productos Químicos

ELIKA: Nekazaritzako Elikagaien Segurtasunerako Euskal Fundazioa / Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria

EREN: Emerging Risks Exchange Network / Intercambio de Riesgos Emergentes en Alimentos

EFSA: European Food Safety Authority / Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

EQT: Toxic Equivalent Concentration / Equivalentes Tóxicos Totales

EVA: Ethylvinylacetate / Etilvinilacetato

FAO: Food and Agriculture Organization / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FDA: Food and Drug Administration / Administración de Alimentos y Medicamentos

FSA: Food Standards Agency / Agencia de Normas Alimentarias

FSAI: Food Safety Authority of Ireland / Autoridad de Seguridad Alimentaria de Irlanda

GARMI: Global Average Rate of Microplastics Ingested / Tasa Media Mundial de Microplásticos Ingeridos

GESAMP: Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection / Grupo de expertos sobre los aspectos científicos de la protección ambiental marina

GPML: Global Partnership on Marine Litter / Asociación Mundial sobre Basura Marina

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

HDC: Hydrodynamic Chromatography / Cromatografía Hidrodinámica

IARC: International Agency for Research on Cancer / Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer

ICES: International Council for the Exploration of the Sea / Consejo Internacional para la Exploración del Mar

INE: Instituto Nacional de Estadística

ISO: International Organization for Standardization / Organización Internacional de Normalización

IST: Ingesta Semanal Tolerable

JRC: Joint Research Centre / Centro Común de Investigación

MOE: Margin of Exposure / Margen de Exposición para los Consumidores

NZFSA: New Zealand Food Safety Authority / Autoridad de Seguridad Alimentaria de Nueva Zelanda

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PA: Polyamide / Poliamida

PCBs: Polychlorinated Biphenyls / Bifenilos policlorados

PE: Polyethylene / Polietileno

PET: Polyethylene Terephthalate / Tereftalato de Polietileno

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

POP/COP: Persistent Organic Pollutants / Contaminantes Orgánicos Persistentes

PP: Polypropylene / Polipropileno

PS: Polystyrene / Poliestireno

PU: Polyurethane / Poliuretano

PVC: Polyvinyl chloride / Cloruro de Polivinilo

SAPEA: Science Advice for Policy by European Academies / grupo de la Comisión Europea para Asesoramiento Científico de la Política para los Académicos

Teflon: politetrafluoroetileno

TEM: Transmission Electron Microscopy / Microscopía Electrónica de Transmisión

UAB: Universidad Autónoma de Barcelona

UNEP: United Nations Environmental Programme / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

UNICEF: United Nations International Children's Emergency Fund / Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

UV: Ultravioleta

WHO/OMS: World Health Organization / Organización Mundial de la Salud

WWF: World Wide Fund for Nature / Fondo Mundial para la Naturaleza

## Resumen

En los últimos años se ha evidenciado un incremento de la cantidad de micro y nanoplásticos en el medioambiente acuático y terrestre, lo que tiene como consecuencia directa la presencia de estos agentes en diversos productos alimenticios como el agua de bebida embotellada, el pescado, los crustáceos y moluscos, la sal y la cerveza.

Los micro y nanoplásticos presentes en los alimentos pueden ocasionar efectos adversos en la salud de los consumidores, tanto a causa de su acción toxicológica “per se”, como por la ocasionada por los contaminantes ambientales que transportan.

A pesar de la información que evidencia la presencia de estos compuestos en los productos alimenticios, la falta de métodos armonizados y la heterogeneidad de los resultados, entre otras incertidumbres, limitan actualmente la evaluación de la exposición y del riesgo, y consecuentemente, la adopción de medidas de gestión que mitiguen su impacto en la salud humana, animal y ambiental.

El propósito de este estudio es reunir y analizar la información disponible sobre este peligro alimentario mediante una exhaustiva revisión y análisis de la bibliografía científica disponible y de la información suministrada por las bases de datos científicas y las asociaciones gubernamentales relacionadas con la Salud, el Medio Ambiente o la Alimentación.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia de la presencia de los micro y nanoplásticos en las cadenas alimentarias y de los riesgos potenciales para la salud por exposición dietética a los mismos, concluyendo en la emergencia de este peligro alimentario. Asimismo, se analizan las estrategias de gestión para su control y el alcance de la comunicación del riesgo.

## Abstract

In recent years, evidence has shown an increase in micro and nanoplastics in aquatic and terrestrial environments, which has direct consequences including the contamination of different food products such as bottled water, fish, seafood, salt and beer.

Micro and nanoplastics in food can cause adverse health effects in consumers, as much due to toxicology action as the toxicity caused by contaminants transported in the environment.

Despite the information that demonstrates the presence of these compounds in food products, the shortage of harmonised methods and the heterogeneity of results, among other uncertainties, currently restricts the exposure and risk assessment and, consequently, the adoption of management measures that mitigate the impact on human, animal, and environmental health.

The purpose of this study is to collect and analyse the available information about this food hazard with a thorough review and analysis of scientific bibliography, scientific database and governmental organisations related to health or food.

The results achieved demonstrate the significance of the presence micro and nanoplastics in food chains and the potential risks to health due to their dietetic exposition, concluding in the emergency of this food hazard.

Additionally, the management strategies of its control and the reach of risk communication were analysed.

## **1. Introducción**

Los microplásticos y nanoplásticos son formas microscópicas de productos plásticos que derivan, en parte, de la fragmentación de los macropásticos y que por su difícil degradación permanecen en el medio ambiente durante décadas, especialmente en el medio acuático.

En los últimos años, se ha profundizado notablemente en su identificación y cuantificación en el medio ambiente, sobre todo en los ecosistemas acuáticos; este hecho, unido al incremento de su producción mundial y su difícil degradación y alta capacidad de persistencia en el medio ambiente justifican la preocupación de la sociedad científica por su toxicidad y por la emergencia derivada de la exposición a los mismos.

El incremento en el medio ambiente se traduce en una mayor posibilidad de ingreso en la cadena alimentaria y, a día de hoy, son numerosos los investigadores que han demostrado la presencia de este tipo de agentes en productos alimenticios de consumo diario como el agua de bebida embotellada, el pescado, crustáceos y moluscos, sal, cerveza, entre otros.

Estos agentes, vehiculados en los alimentos, pueden ejercer una toxicidad “per se” pero además deben ser considerados como causantes de toxicidad adicional ocasionada por otros compuestos como contaminantes, aditivos o incluso microorganismos, que se encuentran adheridos a los micro y nanoplásticos, ya sea porque forman parte de su formulación inicial o por una posterior incorporación. Existen estudios que demuestran que estos materiales pueden causar graves problemas para la salud humana tanto de tipo neurológico, respiratorio, problemas en el desarrollo, reproductivos, hormonales y/o carcinogénicos. Asimismo, recientemente algunos autores han demostrado la capacidad que presentan los plásticos de menor tamaño de atravesar determinadas barreras del organismo y originar de esta manera una exposición sistémica.

A pesar de la importancia que presentan tanto los micro como los nanoplásticos a nivel mundial, la información que existe actualmente sobre determinados aspectos es limitada. Además, a falta de métodos analíticos armonizados, los resultados obtenidos en los estudios presentan una difícil interpretación, impidiendo así poder obtener una estimación de la exposición real de éstos a través de la vía alimentaria. Por este motivo, para poder cuantificar de una manera adecuada la cantidad de micro y nanoplásticos y determinar si se trata de un riesgo emergente alimentario a nivel mundial, se necesitan más estudios, armonizar métodos y realizar un buen análisis de riesgo.

El análisis del riesgo es la estrategia adoptada que se está adoptando a nivel internacional para tomar decisiones sobre la inocuidad de los alimentos, basadas en el conocimiento científico existente sobre el riesgo para la Salud Pública.

En el ámbito europeo, el análisis de riesgos está contemplado en el Reglamento (CE) nº 178/2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la higiene alimentaria, como una herramienta secuenciada que permite que los gestores tomen decisiones acerca de un peligro alimentario con una base científica.

En el momento actual, existen numerosas incógnitas acerca del riesgo real que suponen estos agentes y si su reciente presencia en la cadena alimentaria y su distribución mundial suponen una emergencia que justifique evaluaciones de riesgo en profundidad para la toma de decisiones de gestión.

En este trabajo se ha procedido a una caracterización del riesgo derivado de la presencia de estos agentes en la cadena alimentaria; los datos obtenidos nos han permitido, por una parte, establecer la emergencia que supone ésta integración y, por otra, analizar las posibles medidas de gestión y comunicación a llevar a cabo para su prevención y control.

## **2. Justificación y objetivos**

Este Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo general la caracterización y evaluación de los micro y nanoplásticos como peligro alimentario y la determinación de si pueden constituir un riesgo alimentario emergente. El estudio de estos compuestos es importante, ya que hay poca información sobre algunos aspectos en comparación con la elevada importancia que presentan a nivel mundial. Este trabajo pretende abordar los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los tipos de micro y nanoplásticos que pueden estar presentes en la cadena alimentaria y el riesgo consiguiente a su presencia e ingestión.
- Establecer las condiciones que justifican la consideración de micro y nanoplásticos como agentes de riesgo emergente en alimentos.
- Analizar las medidas de gestión posibles y el grado de implantación de las mismas.
- Valorar las acciones de comunicación establecidas y la percepción del riesgo por parte de las poblaciones expuestas.

## **3. Metodología**

La metodología utilizada en este trabajo se ha basado en la búsqueda, análisis e interpretación de información en bases de datos disponibles en el ámbito científico, mediante la aplicación de palabras clave y la determinación de los criterios de inclusión y exclusión. Se han utilizado las siguientes herramientas de búsqueda:

### **Bases de datos científicas consultadas:**

- Science Direct (portal que ofrece gran cantidad de artículos y libros de rigor científico). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/> [Última consulta: 02-06-2021].
- Google Académico (base de libros y artículos de alta calidad). Disponible en: <https://scholar.google.es/schhp?hl=es> [Última consulta: 02-06-2021].
- PubMed (portal que ofrece gran cantidad de artículos y libros de rigor científico). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> [Última consulta: 02-06-2021].

### **Portales de internet de asociaciones gubernamentales relacionadas con la Salud o la Alimentación:**

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Disponible en: <http://www.fao.org/about/es/> [Última consulta 15-05-2021].
- OMS (Organización Mundial de la Salud). Disponible en: <https://www.who.int/es> [Última consulta 11-05-2021].
- EFSA (European Food Safety Authority). Disponible en: <http://www.efsa.europa.eu/> [Última consulta 15-05-2021].
- AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición). Disponible en: [http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/home/aecosan\\_inicio.htm](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/home/aecosan_inicio.htm) [Última consulta 11-05-2021].
- ACSA (Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria). Disponible en: <http://acsa.gencat.cat/ca/inici> [Última consulta 11-05-2021].
- ELIKA (Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria). Disponible en: <https://www.elika.eus/> [Última consulta 21-05-2021].
- FSAI (Food Safety Authority of Ireland). Disponible en: <https://www.fsai.ie/> [Última consulta 01-05-2021].
- FSA (Food Standards Agency). Disponible en: <https://www.food.gov.uk/> [Última consulta 01-05-2021].
- NZFSA (New Zealand Food Safety Authority). Disponible en: <https://www.mpi.govt.nz/food-safety/> [Última consulta 20-05-2021].
- FDA (Food and Drug Administration). Disponible en: <https://www.fda.gov/> [Última consulta 01-05-2021].
- CFIA (Canadian Food Inspection Agency). Disponible en: <https://www.inspection.gc.ca/eng/1297964599443/1297965645317> [Última consulta 01-05-2021].



Todas ellas proporcionan gran variedad de artículos, estudios e informes que han resultado muy interesantes y útiles para la realización de este trabajo. Asimismo, se han utilizado de referencia artículos encontrados en la red directamente de la bibliografía de los artículos.

La búsqueda ha sido realizada en inglés y en castellano mediante las siguientes palabras clave: microplastics/microplásticos, nanoplastics/nanoplásticos, food/alimento, occurrence/aparición, toxicity/toxicidad, POPs/COPs, trophic transfer/transferencia trófica, marine ecosystem/ecosistema marino, risk assessment/evaluación de riesgos, alternatives/alternativas, plastics/plásticos, hazard analysis/análisis de peligro, risk management/gestión de riesgos, risk analysis/análisis de riesgo, food hazard/peligro alimentario, food alert/alerta alimentaria, food safety/seguridad alimentaria, emerging risk/riesgo emergente.

Los criterios usados básicamente han sido el criterio temporal: 10 últimos años (a partir del 01/01/2012), el tipo de documento (uso de artículos y documentos científicos validados y bien documentados) y su relación con el tema de estudio.

Toda la información obtenida se ha analizado para seleccionar aquellos artículos relevantes para abordar el análisis de riesgo relacionado con la presencia de micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria. El número de artículos incluidos en la revisión ha sido de 73 artículos.

Una vez descartados los artículos irrelevantes para el trabajo, la información se ha estructurado en cinco apartados temáticos, en función de los aspectos más importantes encontrados en la revisión de los documentos

**1.- Valoración de la situación actual del tema que se va a analizar.** Principalmente se profundiza en la identificación del agente, origen y dinámica en el medio ambiente y entrada en la cadena alimentaria. Seguidamente se aborda la caracterización del peligro valorando el impacto ambiental, tanto a nivel acuático como terrestre, el impacto en la biota acuática y terrestre, y el impacto en la salud humana. En cuanto a la salud humana no se valoran únicamente los efectos tóxicos provocados por las micropartículas, sino también los provocados por aditivos, contaminantes y microorganismos adheridos a los micro y nanoplásticos. Asimismo, se ha recopilado y analizado la información disponible sobre las vías de exposición al agente, valorando sobre todo la importancia de la vía alimentaria y la prevalencia.

**2.- Análisis de los estudios existentes acerca de los micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria.** Se ha valorado tanto la armonización de la metodología utilizada como la homogeneidad de los resultados disponibles, identificando de este modo las incertidumbres existentes actualmente sobre este potencial riesgo alimentario.

**3.- Análisis de las medidas de prevención y control del riesgo.** Se han analizado las posibles medidas existentes tanto a nivel medioambiental como en la cadena alimentaria, ya que están íntimamente

relacionadas. En este aspecto ha utilizado como base la normativa vigente sobre plásticos tanto a nivel nacional como internacional, y los informes publicados por diversas organizaciones (OMS, WWF, PNUMA, ECHA, SAPEA, UNEP, GPML, GESAMP). También se han analizado los distintos proyectos internacionales sobre el uso de plásticos con una mayor biodegradabilidad y/o sobre posibles alternativas a este tipo de material.

**4.- Evaluación de la importancia de la comunicación de este riesgo potencial de origen alimentario a todas las partes interesadas.**

**5.- Caracterización de la emergencia.** A partir de los datos obtenidos y siguiendo la metodología de la EFSA, se han aplicado los indicadores de emergencia a fin de caracterizar la misma.

A partir de los resultados obtenidos se han elaborado las conclusiones que responden de forma sintética a cada objetivo planteado.

## **4. Resultados y discusión**

### **4.1. Evaluación del riesgo**

#### **4.1.1. Identificación del peligro (micro y nanoplásticos)**

##### **4.1.1.1. Qué son**

Con el término de materiales plásticos se conoce a una amplia familia de polímeros sintéticos y semisintéticos derivados de recursos fósiles (carbón, gas natural, petróleo crudo) y de productos orgánicos, que incluyen celulosa, sal y compuestos orgánicos renovables (maíz, patata, remolacha, almidón, algas, etc.). Se moldean a una temperatura y presión específicas, lo que les aporta gran resistencia ambiental, durabilidad, aislamiento y flexibilidad. Además, son materiales muy asequibles, lo que ha provocado su uso para una gran variedad de utilidades, desplazando a los materiales tradicionales.

En función de su respuesta al calor, se distinguen tres grandes categorías de materiales plásticos (ELIKA, 2020):

- Termoplásticos: se ablandan al calentar y se endurecen al enfriar. A este grupo pertenecen: el PE, el PP, el Teflon, el PET, la PA, el PVC y el PS.
- Termoestables: nunca se ablandan una vez que han sido moldeados. Entre otros, en este grupo se encuentran las resinas epoxi, el PU y las resinas de poliéster.
- Elastómeros: el material puede volver a su forma original después del estiramiento. Los representantes más importantes son el caucho y el neopreno.

Por otra parte, en función de su tamaño, los materiales plásticos se dividen en macroplásticos, microplásticos y nanoplásticos.

No existe una definición y diferenciación armonizadas de los términos microplástico y nanoplástico; la Comisión Europea (2011) distingue, por su tamaño, a los *microplásticos* (partículas de 0,1 a 5000

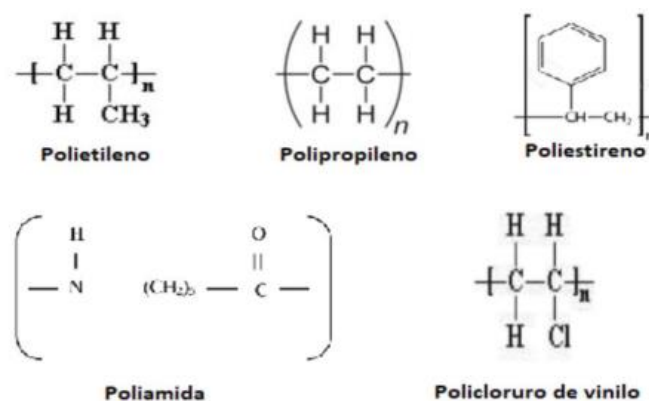
$\mu\text{m}$ ) de los *nanoplásticos* (tamaños comprendidos entre 0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$ ) y la ISO define los *microplásticos* como cualquier partícula de plástico sólido insoluble en agua con cualquier dimensión entre 1  $\mu\text{m}$  y 1 mm, y los *nanoplásticos* como partículas de plástico de un tamaño inferior a 1  $\mu\text{m}$ .

En función de su procedencia, la EFSA (2016) clasifica los microplásticos en primarios (si han sido fabricados con ese tamaño) o secundarios cuando resultan de la fragmentación de plásticos primarios.

#### 4.1.1.2. Qué estructura tienen

En la **Figura 1** se muestra la estructura de los plásticos que derivan en microplásticos.

- PE: está compuesto por una repetición de etilenos, que tiene forma de gránulos o polvo blanco.
- PP: está formado por polimerización del propileno.
- PS: termoplástico constituido por una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo cada dos átomos de carbono. Sus monómeros son el etileno y el benceno.
- PA: se denominan así porque presentan grupos amida en su cadena principal.
- PVC: es producido por dos materias primas naturales (hidrocarburos y sal común), que transformadas en cloro y vinilo permiten obtener el producto. Tiene la estructura del polietileno, pero cada dos carbonos presenta un átomo de cloro.



**Figura 1.** Estructura de algunos plásticos que derivan en microplásticos (Sánchez, 2019).

En la **Tabla 1** se presentan los tipos de microplásticos según la forma:

**Tabla 1.** Categorías utilizadas para clasificar los microplásticos según la forma (Lusher et al., 2017).

Clasificación según la forma	Otros términos utilizados
Fragmentos	Partículas de formas irregulares, cristales, pelusas, polvo, gránulos, virutas, copos, películas
Fibras	Filamentos, microfibras, hebras, hilos
Perlas	Granos, microperlas esféricas, microesferas
Espumas	Poliestireno, poliestireno expandido
Pellets	Gránulos de resina, pellets de preproducción, puntas

#### 4.1.1.3. De dónde vienen

##### Microplásticos

Los microplásticos primarios se fabrican originalmente para tener ese tamaño y por lo tanto este tipo de materiales se encuentran en la naturaleza en el mismo estado o muy similares a como fueron sintetizados en su origen.

Están presentes en polvos plásticos utilizados en moldes, microperlas en formulaciones cosméticas y en la resina virgen utilizada durante la producción de productos plásticos (GESAMP, 2015).

En el medio ambiente, la forma predominante son los microplásticos secundarios. En el medio acuático se originan a partir de la fragmentación de los desechos plásticos que flotan en los océanos debido a una exposición prolongada a la luz UV y también a través de la abrasión física provocada por las olas. En los medios terrestres los principales factores fragmentadores son la exposición directa a la radiación UV, junto con los cambios de temperatura que se producen.

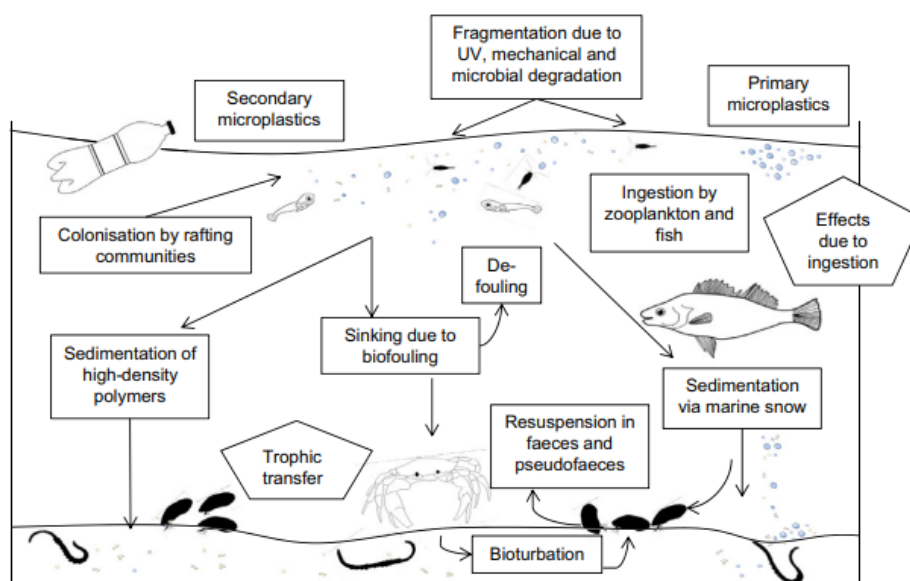
##### Nanoplásticos

Diversos investigadores (Andrady, 2001; Cozar et al., 2014; Duis y Coors, 2016; Koelmans et al., 2015) indican que los nanoplásticos tienen su origen en la fragmentación de microplásticos; otros plantean que la acción microbiana juega, también, un papel importante en esta degradación (Zetter et al., 2013). En una publicación del año 2015 el GESAMP determina que otro posible origen de los nanoplásticos son los procesos industriales.

#### 4.1.1.4. Cuál es su dinámica en el medio ambiente

Los microplásticos se han convertido en un contaminante emergente presente en muchos ecosistemas entre los que se encuentran los medios acuáticos, ya sean de agua dulce o salada.

En la **Figura 2** se exponen las potenciales rutas de transporte de microplásticos en el medio ambiente, así como sus interacciones biológicas.



**Figura 2.** Vías potenciales para el transporte de microplásticos y sus interacciones biológicas (Wright et al., 2013).

El 80% proceden de fuentes terrestres, mientras que el porcentaje restante viene de desechos plásticos marinos procedentes de la industria pesquera. La liberación de los microplásticos al medio ambiente terrestre se suele producir por productos de cuidado personal como pasta de dientes, agentes de limpieza y fibras textiles. Estos microplásticos son transportados al sistema de alcantarillado y de esta manera entran en el sistema marino. Otras vías de entrada de estos microplásticos en el medio ambiente terrestre pueden ser las pinturas y los neumáticos (GESAMP, 2015; EU, 2016).

Otra vía muy importante de entrada de incorporación de plásticos en el medio ambiente es tanto la pesca como la acuicultura. Se encuentran plásticos en la construcción de embarcaciones, mantenimiento de embarcaciones, artes de pesca (redes, dragas, trampas, flotadores, señuelos, anzuelos y líneas), aislamiento de almacenamiento de pescado y cajas de pescado (FAO, 2016a).

Una vez liberados en el medio marino, el destino de los microplásticos principalmente depende de la densidad del polímero que influye en su flotabilidad, su ubicación en altura en la columna de agua y la consiguiente posible interacción con la biota y depósito en el fondo (Wright et al., 2013).

Los polímeros más densos que el agua de mar se hunden, mientras que los de menor densidad tenderán a flotar en la columna de agua. Procesos como el biofouling y la colonización de organismos en la superficie plástica aumentan el peso de las partículas, acelerando así su hundimiento hasta los sedimentos del fondo (Lobelle y Cunliffe, 2011); también la degradación, la fragmentación y la lixiviación de aditivos pueden cambiar la densidad de los objetos y su distribución dentro del agua.

Debido a su durabilidad y acumulación en los distintos ecosistemas, están disponibles para la incorporación a un organismo de manera accidental o intencionada permitiendo que los microplásticos puedan avanzar a través de la cadena trófica. Además, gracias a que presentan la característica de adherencia, son capaces de unirse a otros compuestos que existan en el medio como pueden ser pesticidas organoclorados, metales pesados o antibióticos.

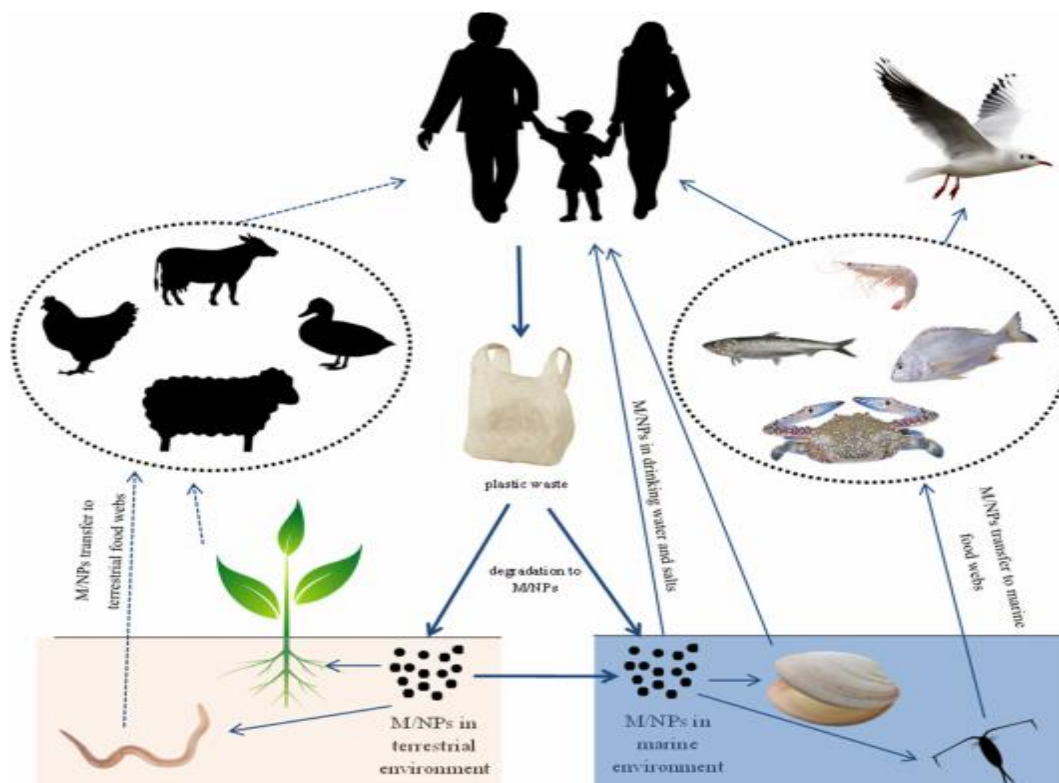
En el ecosistema marino los microplásticos pueden ser ingeridos por muchos invertebrados marinos, ya que las partículas son de tamaño similar a algunas especies de plancton (Browne et al., 2008). Los microplásticos también pueden acumularse en sedimentos (Thompson et al., 2004) y, por lo tanto, puede estar disponible para especies bentónicas. Se han detectado microplásticos en una gran variedad de organismos zooplanctónicos y también en niveles tróficos superiores, tanto invertebrados como vertebrados que están expuestos directamente o a través de niveles tróficos inferiores.

Los microplásticos pueden incorporarse a la cadena trófica mediante la ingestión directa, como los animales marinos que han ingerido microplásticos en suspensión, o mediante transferencia trófica, es decir, la ingesta de otros animales que contienen a su vez microplásticos (**Figura 2.**).

Además, el transporte atmosférico también debe ser considerado como una ruta de contaminación de microplásticos (Bouwmeester et al., 2015).

#### 4.1.1.5. Cómo entran en la cadena alimentaria humana

Tal y como se puede observar en la **Figura 3**, principalmente hay dos vías de entrada de microplásticos y nanoplásticos a la cadena alimentaria.



**Figura 3.** Posibles rutas de transferencia de micro y nanoplásticos en las redes tróficas mundiales (Wong et al., 2020). Una de las vías de exposición humana sería mediante la ingestión de productos pesqueros contaminados por microplásticos/nanoplásticos. El pescado muestra altas concentraciones de microplásticos, pero como éstos se encuentran mayoritariamente alojados en el estómago e intestinos, partes que generalmente se desechan, los consumidores no están directamente expuestos a ellos. Por el contrario, en el caso de los crustáceos y moluscos bivalvos como las ostras y los mejillones, al ser ingeridos en su totalidad, la exposición de la población a estos compuestos puede ser más elevada (ELIKA, 2020).

A pesar de esto, se debería estudiar más sobre el tema ya que Abassi et al. (2018) han demostrado la presencia de microplásticos en tejido muscular tanto de pescado como de crustáceos.

No existe información sobre el efecto del procesamiento de los productos del mar, pero es probable que los microplásticos provengan de otras fuentes además de los propios alimentos como por ejemplo: coadyuvantes de procesamiento, agua, aire, equipo y textiles, etc. Por tanto, es posible que la cantidad de microplásticos aumente durante el procesamiento industrial. El efecto de los procesos culinarios sobre el contenido de plásticos es desconocido.

Los expertos de la EFSA (2016) plantean que, a pesar de que no existen estudios concluyentes de la presencia de nanoplásticos en alimentos, es muy probable que se encuentren en ellos y que, al igual que sucede con los microplásticos, puedan proceder de otras fuentes.

La otra posible entrada de microplásticos en la cadena alimentaria humana es a través de la ingestión de alimentos de origen animal de procedencia terrestre, según sugieren Bouwmeester et al. (2015). Como se ha comentado con anterioridad, hay estudios que demuestran que los microplásticos se pueden transferir entre los distintos niveles tróficos. Teniendo en cuenta que la harina de pescado es usada tanto en producción avícola como porcina, podría ser que estos plásticos pasaran a este nivel trófico y, posteriormente, a la cadena alimentaria humana.

Además, la contaminación de los alimentos también puede producirse por deposición en su superficie de los micro/nanoplásticos que forman parte del polvo atmosférico, y que pueden depositarse en estos a lo largo de toda la cadena de producción y consumo.

#### **4.1.2. Caracterización del peligro**

##### **4.1.2.1. Impacto ambiental (ecosistema acuático y terrestre)**

Según la Comisión Europea (2018), la producción mundial de plásticos se ha multiplicado por veinte desde el decenio de 1960, alcanzando 322 millones de toneladas en 2015 y se calcula que se duplicará nuevamente durante los próximos 20 años.

Las revisiones científicas relacionadas con el uso de plásticos en la tecnología alimentaria (Andrady y Neal, 2009; Van Eygen et al., 2017; Smithers Pira, 2018; Sgohail et al. 2018) indican que su uso como material de envasado alimentario y materiales de contacto con alimentos se ha incrementado considerablemente debido, principalmente, al crecimiento de la población, la expansión de los mercados y la necesidad de reducir el desperdicio alimentario. Esto ha contribuido a una presencia creciente de envases de plástico u otros productos de consumo que se desechan después de un breve uso, que rara vez se reciclan y con frecuencia acaban en las basuras; tal es el caso de pequeños envases, bolsas, tazas, cubiertos, pajitas, etc. muy utilizados dado su bajo coste, ligereza y carácter práctico (CE, 2018a). En la actualidad se considera que la contaminación por materiales plásticos ha adquirido caracteres de gravedad ya que se han detectado microplásticos en agua (Koelmans et al., 2019), en ambientes terrestres (Lu et al., 2020) y en la atmósfera (Abbasi, 2019). En el caso de los nanoplásticos, los métodos analíticos no están lo suficientemente desarrollados para confirmar su presencia en el medio ambiente o en la cadena alimentaria (Koelmans et al., 2015).

##### Impacto de los microplásticos en el ecosistema acuático

En 2014, van Sebille et al. (2015) estimaron que había 236 000 toneladas de microplásticos, principalmente en el norte de los océanos Atlántico y Pacífico, pero los autores consideran que este número es una subestimación de la verdadera escala del problema.

Cada año, entre 5 y 13 millones de toneladas de plástico (del 1,5 al 4 % de la producción mundial) acaban en los océanos. En Europa se generan anualmente unos 25,8 millones de toneladas de residuos de plástico y menos del 30 % de ellos se recogen para su reciclado y entre 150 000 y 500 000 toneladas de residuos de plástico llegan cada año en los océanos (CE, 2018a). La contaminación por plásticos en

los océanos tiene un coste para la Unión Europea de alrededor de 690 millones de euros al año, derivados de la limpieza de las playas y costas, así como de los efectos negativos sobre la industria pesquera y la acuicultura (ELIKA, 2019).

En las playas las concentraciones de microplásticos pueden alcanzar el 3 % y son un sustrato potencial para la adherencia de contaminantes orgánicos (Wright et al., 2013) y la colonización por bacterias (Zettler et al., 2013). En zonas costeras se ha encontrado la presencia de aditivos y contaminantes adsorbidos procedentes de los microplásticos, generando en estas altas concentraciones de PCB, PAH y pesticidas. Los polímeros de microplásticos que se han encontrado con mayor frecuencia son: PE, PP y PS (EFSA, 2016).

La baja densidad tanto de los microplásticos como de los nanoplásticos promueve la dispersión a larga distancia en el medio acuático de estas partículas junto con contaminantes y aditivos a cualquier parte del océano. Fossi et al. (2012) encontraron que el 56 % de las muestras neustónicas/planctónicas de la superficie del mar Mediterráneo contenían partículas microplásticas.

Un estudio reciente (de Haan et al, 2019) revela la presencia de diferentes tipos de microplásticos en el litoral mediterráneo peninsular, en concreto en las costas de Cataluña, la región de Murcia y Almería. En todas las zonas estudiadas, abundan los fragmentos de polietileno (54,5 %), polipropileno (16,5 %) y poliestireno (9,7 %), también son abundantes los polímeros de nylon, PU, PET, EVA, PVC, ABS y polímeros fluorocarbonados. Los expertos también han identificado por primera vez indicios de materiales plásticos de origen marino (partículas de pintura de los barcos) no muy estudiados hasta ahora en la cuenca del Mediterráneo. La gran diversidad de microplásticos encontrados en el mar en cuanto a composición y color, así como las diferencias de concentración, indican orígenes y volúmenes distintos según el tramo de costa considerado. El estudio describe por primera vez que el 40 % de los microplásticos pueden formar agregados orgánicos marinos lo que podría facilitar el hundimiento y la acumulación de los microplásticos poco densos en los fondos marinos, lejos del alcance del único agente capaz de degradarlos: la luz ultravioleta de la radiación solar.

#### Impacto de los microplásticos en el ecosistema terrestre

Aunque no se conocen bien cuales son las fuentes de los microplásticos que se encuentran en los ecosistemas terrestres, éstos se han detectado en suelos de cultivo (Lv et al., 2019), así como en sistemas de filtración de aguas residuales (Eriksen et al., 2013; Carr et al., 2016; Souza Machado et al., 2018; Corradini et al., 2019). Recientemente algunos informes (SAPEA, 2019) y autores (Horton et al., 2017) plantean que es muy probable que los lodos de depuradoras y el estiércol animal usados como fertilizante en agricultura puedan introducir una cantidad importante de microplásticos en los suelos.



#### 4.1.2.2. Nano y microplásticos en la biota acuática y terrestre

Un informe de EFSA (2016) demuestra que los microplásticos pueden transferirse a otros niveles tróficos y, además biomagnificarse, lo que significa, de acuerdo con lo propuesto por Auta et al. (2017) y Ogunola et al. (2018), que el aumento de su presencia en el medio marino conlleva un incremento de la misma en los organismos marinos, aunque esta biomagnificación depende, según Santana, Moreira y Tura (2017) de la concentración de microplásticos, de la tasa de depuración y, sobre todo, de la capacidad de depredación.

Cole et al. (2013) mostraron que el zooplancton tenía la capacidad de ingerir perlas de poliestireno, aunque su absorción varía según los taxones, la etapa de vida y el tamaño de la perla. Del mismo modo, Setälä et al. (2014) y Ward y Shumway (2004) también mostraron la ingestión de microesferas de poliestireno por misidáceos, copépodos, cladóceros, rotíferos, larvas de poliquetos y ciliados, bivalvos, equinodermos y briozoos, etc.

Físicamente, los microplásticos pueden interferir con el proceso digestivo de los animales acuáticos y causar bloqueo intestinal, reduciendo la absorción de nutrientes de los animales, lo que lleva a reducir energía y fertilidad (Besseling et al., 2013; Lee et al., 2013). Esta situación podría representar un problema para las especies de interés comercial, debido a la reducción del rendimiento y la consiguiente pérdida económica.

En un estudio de laboratorio diseñado para imitar un ecosistema costero, Setälä et al. (2016) compararon la ingestión de microplásticos en invertebrados marinos con diferentes hábitos de alimentación (bivalvos, crustáceos y organismos bentónicos que se alimentan de depósitos). Todos ingirieron microperlas de plástico (de aproximadamente un diámetro de 10  $\mu\text{m}$ ), siendo los bivalvos (*Mytilus trossulus* y *Macoma balthica*) los que capturaron mayores cantidades.

Las microesferas de poliestireno ingeridas por mejillones (*M. edulis*) fueron translocadas desde el intestino al sistema circulatorio y persistieron durante más de 48 días, sin embargo, no se observaron efectos toxicológicos a pesar de la presencia de microplásticos en la hemolinfa y en los hemocitos (Browne et al., 2008). Por el contrario, la formación de granulocitomas en esta especie se ha demostrado que sí que aumenta el número de hemocitos y disminuye la estabilidad lisosomal (GESAMP, 2010). Otro estudio realizado por Della Torre et al. (2014) sobre los plásticos en erizos de mar (*Paracentrotus lividus*) demostró que los plásticos son embriotóxicos.

Los microplásticos pueden causar efectos neurotóxicos y genotóxicos en bivalvos. Estos efectos producen una disminución de la supervivencia y de la capacidad de reproducción de estos. Además de estos efectos estudiados, se puede esperar que los micro y nanoplásticos probablemente interactúan con el sistema inmunológico, sobre todo porque pueden ser absorbidos por las células fagocíticas (Canesi et al., 2015).

Además, la presencia de microplásticos y nanoplásticos no solo afecta a animales de hábitat acuático, Lavers y Bond (2016) revelaron altos niveles de metales pesados en aves marinas, sus polluelos y niveles tróficos más altos. Casi todas las especies de aves marinas estudiadas presentaron microplásticos en el tracto digestivo (van Franeker et al., 2011). Los microplásticos también pueden ser ingeridos por mamíferos marinos, se han encontrado microplásticos en el estómago de focas comunes, *Phoca vitulina* (Bravo Rebolledo et al., 2013), zifios, *Mesoplodon mirus* (Lusher et al., 2015a) y ballenas barbadas, *Megaptera novaeangliae* (Besseling et al., 2015).

Los microplásticos en los mamíferos marinos pueden tener su origen en la alimentación en el agua o por ingestión de presas que ya contienen microplásticos. De hecho, los mamíferos marinos, en particular las ballenas barbadas, pueden considerarse centinelas de la salud de los océanos en relación con la ingestión de microplásticos y la exposición a aditivos plásticos (Fossi et al., 2012, 2014, 2016; Bains et al., 2017). Además, estos depredadores superiores de larga vida pueden ser indicadores eficaces de patologías crónicas o de lento desarrollo. Los mamíferos pueden proporcionar una indicación temprana de posibles efectos adversos para la salud y proporcionar conocimiento de los mecanismos tóxicos de un determinado agente peligroso, como los microplásticos o sus productos químicos asociados.

#### 4.1.2.3. Impacto en la salud humana

Un informe de EFSA (2016), pone de manifiesto la falta de información en cuanto al destino de los microplásticos en el tracto gastrointestinal ya que, a pesar de que sí que hay datos disponibles sobre la absorción y la distribución, no los hay respecto al metabolismo y la excreción. Lo mismo sucede para los nanoplásticos.

Los microplásticos son resistentes a la biodegradación por lo que, una vez absorbidos, permanecen en el organismo, aunque algunos informes de la ACSA (2019) indican que se ha observado la excreción de micropartículas por vías biliares, urinaria y láctea.

La EFSA (2016) concluye que serían necesarios estudios sobre la toxicocinética y la toxicidad, incluyendo estudios sobre los efectos locales en el tracto gastrointestinal y sobre la degradación de microplásticos y la posible formación de nanoplásticos en el tracto gastrointestinal humano.

Basándose en numerosas pruebas de toxicidad de microplásticos en animales acuáticos, ratones y células humanas, Chang et al. (2020) concluyeron que los micro y nanoplásticos producen efectos tóxicos en el tracto gastrointestinal, hígado, sistema nervioso y sistema reproductivo. Asimismo, Bouwmeester et al. (2015) y el GESAMP (2015) han demostrado que los microplásticos pueden presentar efectos potenciales sobre la salud humana.

Existe un estudio de revisión liderado por la UAB y el CREAM (2020) que concluyó que los nanoplásticos cambian la composición y diversidad funcional del microbioma intestinal en vertebrados

e invertebrados y que tales efectos podrían ser aplicables a los humanos. Los nanoplásticos pueden perjudicar la salud, ya que producen alteraciones en los sistemas inmunitario, endocrino y nervioso.

Además, este artículo también alertó sobre la posibilidad de que una exposición a nanoplásticos a largo plazo, acumulada generación tras generación, pueda dar lugar a cambios impredecibles hasta en el mismo genoma, hecho ya observado en algunos modelos animales. Los efectos sinérgicos o antagonistas de mezclas de xenobióticos y fragmentos plásticos pueden potenciar los efectos nocivos de contaminantes individuales, empeorando los efectos de la acumulación de nanoplásticos en vías respiratorias y, especialmente, sistemas gastrointestinales (Da Cunha et al., 2019).

Recientemente ELIKA (2020) ha resumido las posibles vías de incidencia tóxica de los microplásticos en la salud humana; además de los efectos específicos provocados por las micropartículas, podrían producirse efectos toxicológicos por los componentes químicos que pueden migrar desde las partículas, por la presencia de contaminantes ambientales transportados por los microplásticos o incluso por la contaminación microbiana de las propias partículas.

Aunque la EFSA reconoce que el riesgo de exposición de los humanos a los micro/nanoplásticos es mínimo, es evidente que los consumidores están expuestos a los microplásticos a través de su dieta y su presencia en los productos del mar podrían representar una amenaza para la seguridad alimentaria (Van Cauwenberghe y Janssen, 2014; Barnes et al., 2009; Andradý, 2011; Browne et al., 2011; CE, 2011; Law y Thompson, 2014; Wang et al., 2016). Por estos motivos, sería necesario realizar un análisis y evaluación del riesgo potencial del efecto de los microplásticos para la salud humana. Este debería comprender la exposición dietética de una variedad de alimentos en el total de la dieta con el fin de evaluar el riesgo contribuyente de alimentos marinos contaminados.

### **Efectos tóxicos provocados por las micropartículas**

Por norma general los micro y nanoplásticos se consideran como materiales inertes. Pero los nanopolímeros pueden adsorber macromoléculas como proteínas y lípidos de los fluidos biológicos y generar una capa superficial formada principalmente por proteínas, denominada 'corona'. Esta puede modificar las interacciones de la partícula con las células del organismo y condicionan su toxicidad.

Se han propuesto mecanismos por los cuales los microplásticos podrían causar daños como la embolización vascular, las respuestas inflamatorias asociadas a la acción de las células fagocíticas sobre las partículas, o a la potenciación de la respuesta (auto)inmunitaria a biomoléculas adsorbidas en la superficie de las partículas. Recientemente algunos estudios in vitro han demostrado que pueden producir citotoxicidad por mecanismos de estrés oxidativo (Schirinzi et al., 2017). Además, el análisis de múltiples biomarcadores bioquímicos y perfiles metabolómicos apunta que la exposición produjo alteraciones en el metabolismo energético y lipídico (Stock et al., 2019).

Los efectos que producen los microplásticos también dependen del tipo de material y su composición química y sobre la absorción y liberación de contaminantes químicos con afinidad plástica. Los polímeros plásticos pueden mostrar diferentes grados de toxicidad (Lithner, Larsson y Dave, 2011).

Respecto a la toxicidad, la IARC incluye algunos plásticos, sus componentes o derivados en su lista de clasificación de carcinógenos. Por ejemplo, aunque el PVC o el PS están considerados en el Grupo 3 (“no clasificable como carcinógeno para los humanos”), alguno de sus componentes o derivados sí se incluyen en otros grupos: el cloruro de vinilo en el Grupo 1 (“cancerígeno para los seres humanos”), el estireno en el Grupo 2A (“probablemente carcinógeno para los humanos”) o algunos derivados de los ftalatos en el Grupo 2B (“posiblemente carcinógeno para los humanos”).

### **Efectos tóxicos por aditivos y contaminantes asociados a los microplásticos**

Los microplásticos contienen una mezcla de productos químicos añadidos durante su fabricación, pero también pueden adsorber contaminantes del medio ambiente al que rodean (Rochman, 2015). Estos productos químicos añadidos incluyen monómeros, oligómeros, plastificantes y retardadores de llama, mientras que los contaminantes absorbidos del medio ambiente incluyen PCBs, HAPs, plaguicidas clorados, incluidos colectivamente dentro del grupo de los COP, metales traza y bacterias.

El posible impacto ambiental en la biota no sólo se debe a la transmisión de las partículas plásticas, sino también a la transferencia trófica de contaminantes orgánicos adsorbidos por el plástico tales como los COPs; Ogata et al, 2009 apuntan que COPs como las dioxinas, los PCBs y los éteres de difenilo polibromados pueden ser transferidos y su ingestión y absorción pueden afectar las funciones de los organismos que los ingieren.

También se han encontrado antibióticos en los microplásticos (Li, Zhang y Zhang, 2018).

Los estudios de exposición a microplásticos, aditivos y contaminantes que se han realizado en mejillones, en un escenario conservador, no representan un riesgo importante para los consumidores ya que solo aumentan una cantidad insignificante de bisfenol A, PCB y PAH (EFSA, 2016). Sin embargo, estudios recientes sobre el pez cebra (*Danio rerio*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*) detectan concentraciones más altas de PCB y BFR en el tejido muscular de peces alimentados con pellets que contienen una combinación de contaminantes y microplásticos con respecto a los peces alimentados con piensos que contienen solo contaminantes sin microplásticos (Granby et al., 2018; Rainieri et al., 2018).

Los microplásticos pueden contener de promedio un 4% de aditivos y los plásticos pueden adsorber los contaminantes. Tanto los aditivos como los contaminantes pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica (Bouwmeester et al., 2015).

### Aditivos

Los plásticos incorporan diferentes aditivos que se agregan de forma intencionada durante el proceso de fabricación o procesamiento del plástico, para mejorar sus propiedades, rendimiento y funcionalidad

(Harper, 2006). Aproximadamente la mitad de estos aditivos son plastificantes, como los ftalatos, pero también se encuentran alquifenoles y bisfenol A, titanio y nanopartículas de dióxido. Los plásticos también presentan aditivos inorgánicos como bario, azufre y zinc (Fries et al., 2013). La continua fragmentación de los microplásticos expondrá constantemente superficies nuevas y facilitará la migración de los aditivos desde el núcleo hasta la superficie de la partícula.

La EFSA (2015) calculó una exposición media de adultos al bisfenol A de fuentes dietéticas y no dietéticas de 0,19 a 0,20  $\mu\text{g} / \text{kg}$  de peso corporal por día, por tanto, un adulto de 70 kg ingeriría una media de 14  $\mu\text{g}$  de bisfenol A al día. En consecuencia, el bisfenol A asociado a los microplásticos en mejillones solo contribuiría aproximadamente al 2 %, porcentaje muy pequeño con respecto a la exposición total de bisfenol A en la población humana. La exposición a los otros aditivos de microplásticos se equipararía a la de este aditivo, ya que no se espera que sea sustancialmente diferente.

Es importante tener en cuenta que algunos aditivos químicos pueden tener efectos reproductivos, carcinogénicos o mutagénicos. Además de los aditivos, los microplásticos pueden liberar monómeros residuales que no se hayan incorporado a la matriz polimérica, así como productos de degradación que se hayan formado en la superficie por reacciones químicas o fotoquímicas durante la estada en el medio ambiente (ACSA, 2019).

Además, Swan (2021), investigadora de la Escuela de Medicina del Hospital Mount Sinai de Nueva York, ha demostrado mediante un estudio que realizó en ratones que uno de estos tipos de aditivos, los ftalatos, está presentes tanto en la placenta de individuos adultos como en el aparato genital de algunas crías, causando una disminución del tamaño de este, así como una menor cantidad de espermatozoides, disminuyendo consecuentemente la fertilidad. Este hecho confirmaría la gran persistencia y bioacumulación que pueden presentar en el organismo y la capacidad de transmisión vertical que presentan estas partículas.

### Contaminantes

Los residuos plásticos son un material hidrofóbico con una superficie cargada y/o un biofilm cargado, cosa que implica que este material estará contaminado con productos químicos como contaminantes orgánicos persistentes, plaguicidas y metales pesados. Los contaminantes orgánicos en los microplásticos pueden introducirse durante la fabricación o adsorberse del agua de mar (Teuten et al., 2009); y se ha demostrado que se pueden transferir a otros niveles tróficos y encima biomagnificar. (EFSA, 2016).

Los COPs, como los PCBs, los HAPs y los plaguicidas organoclorados, que generalmente son hidrófobos, preferentemente se adsorben a la superficie de las partículas, y debido a la alta relación superficie / volumen de la partícula, la cantidad adsorbida por gramo de plástico puede ser alta. Además, los contaminantes inorgánicos presentes en el agua, como por ejemplo los metales, también se pueden adsorber en los microplásticos y concentrarse (EFSA, 2016).

Algunos estudios informan que la contribución de microplásticos a la dispersión de COPs en el medio ambiente, donde ya están abundantemente presentes, no parece ser lo suficientemente relevante (Lohman, 2017) y que la ingestión de microplásticos no proporciona una contribución significativa a la transferencia de sustancias químicas absorbidas del agua a la biota a través del intestino (Bakir et al., 2016).

Se han encontrado concentraciones de hasta 2.750 ng/g de PCB y 24 000 ng/g de HAP en microplásticos (EFSA, 2016; Wright y Kelly, 2017; Barboza et al., 2018). Incluso los nanoplásticos podrían ser vectores de muchos otros metales (Davranche et al., 2019).

La adsorción de los contaminantes es más elevada en plásticos envejecidos (expuestos al sol) que en sus homólogos vírgenes (Brennecke et al., 2016), al menos en parte, debido a la deposición de material orgánico de la biopelícula en la primera (Brennecke et al., 2016; Rochman et al., 2014a).

La uniformidad de la adsorción de metales a perlas de plástico de sustancias químicas bastante diferentes podría sugerir que los metales se unen a ligandos en la biopelícula y esto también explicaría la adsorción continua a largo plazo de metales a medida que crecía la biopelícula (Rochman et al., 2014a).

Estos productos químicos adsorben y se liberan del plástico en función de las condiciones ambientales. Por lo tanto, el estado químico y los riesgos toxicológicos del plástico contaminado difieren en el tiempo y en el espacio durante el ciclo de vida de una partícula de plástico en el medio. La concentración de contaminantes en el plástico puede ser de hasta un millón de veces superior a la del medio (Mato et al., 2001), y actúa como una fuente potencial y un vector para estas sustancias químicas.

En la última evaluación del riesgo de dioxinas y PCBs similares a las dioxinas realizada en 2018, la EFSA concluyó que la exposición a las dioxinas y los PCBs similares a las dioxinas pueden representar un riesgo para la salud humana porque todos los grupos de edad superaron la IST de 2 picogramos de EQT por kilogramo de peso corporal. Además, si se tiene en cuenta que aún no se conoce realmente la exposición de estos compuestos a través de los micro y nanoplásticos, estos niveles de ingesta podrían aún llegar a ser más preocupantes. En cuanto a los HAPs, la EFSA (2008) estimó una exposición media de 3,8 µg por día concluyendo que la ingesta media no supone un peligro para la salud pública, excepto en los grupos de población con un alto consumo de alimentos que contienen HAPs, para los cuales no se puede descartar un cierto riesgo, debido a que estos sí que superan los valores de referencia toxicológicos (MOE). Aun así, EFSA no consideró para este estudio a los micro y nanoplásticos como una posible vía de entrada de estos compuestos, con lo cual no se descarta que, teniéndolos en cuenta, la ingesta media de la población sí que pudiera suponer un riesgo para la salud pública. Por lo tanto, incluso si se asume que los PCB y HAP se liberarán completamente de los microplásticos, el consumo de estos mejillones tendría un pequeño efecto en la exposición a PCB y

HAP. Si calculamos el impacto de los contaminantes orgánicos adheridos en los microplásticos a nivel global, la exposición sería bastante más alta.

### **Efectos nocivos asociados a la capacidad de los microplásticos de atravesar la membrana celular**

El epitelio de la pared intestinal representa una barrera importante para los microplásticos, excluyendo el transporte transcelular. La ruta paracelular de captación tampoco es posible, dado que el tamaño de los plásticos es demasiado grande (Alberts et al., 2002). Sin embargo, la captación a través del tejido linfático después de lo cual puede ocurrir la fagocitosis, o mediante endocitosis, podría ser posible (Galloway, 2015); y ya existen estudios tanto sobre humanos, perros, conejos y roedores que lo demuestran (Hussain et al., 2001).

El tamaño de las partículas es uno de los factores más importantes para determinar la extensión y vía de captación. El límite superior de tamaño de partícula para la endocitosis es de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$  (Yoo et al., 2011).

La absorción intestinal de microplásticos parece ser pequeña, se ha comprobado en estudios in vitro tanto en roedores como en humanos (Carr et al., 2012). Si la permeabilidad intestinal está comprometida por alguna patología, se ha visto que la posibilidad de transporte de microplásticos aumenta (Schmidt et al., 2013).

Según varios estudios, es muy probable que los microplásticos de  $>150 \mu\text{m}$  no se absorban, y sólo se esperan efectos locales sobre el sistema inmunológico y la inflamación del intestino. Los microplásticos más pequeños ( $<150 \mu\text{m}$ ) pueden provocar una exposición sistémica, pero los datos disponibles muestran que la absorción es limitada ( $\leq 0,3 \%$ ). Solo la fracción más pequeña (tamaño  $<1,5 \mu\text{m}$ ) puede penetrar profundamente en los órganos.

Los nanoplásticos pueden atravesar fácilmente tanto las barreras dérmicas (Rubio et al., 2020) como epiteliales (Magri et al., 2018) en células del cuerpo humano. Una vez dentro de los tractos pulmonares y gastrointestinales, tales plásticos podrían experimentar absorción (o persorción en algunos casos), biodistribución y bioacumulación en órganos y tejidos (Rubio et al., 2020), lo que podría conducir a impactos a largo plazo en el cuerpo humano.

Las nanopartículas pueden interactuar con una amplia gama de moléculas, como proteínas, lípidos, carbohidratos, ácidos nucleicos, iones y agua presentes en el tracto gastrointestinal (EFSA, 2011); presentando de este modo una translocación significativamente mayor (Walczak et al., 2015).

Se ha demostrado la distribución de nanopartículas por todo el cuerpo: hígado, bazo, corazón, pulmones, timo, órganos reproductivos, riñón e incluso en el cerebro (De Jong et al., 2008). Por lo que se comprueba que algunas nanopartículas son capaces de cruzar barreras biológicas y potencialmente acceder, por ejemplo, al cerebro, a los testículos, al feto. Se realizó un estudio que demostró que la placenta solo transfiere al feto las partículas de menor tamaño (Wick et al., 2010).

Se debe tener en cuenta que los estudios no se han realizado con todos los nanoplásticos, únicamente se ha usado el poliestireno, con lo cual la extrapolación a todos los nanoplásticos debe hacerse con cautela, ya que la absorción y la toxicidad dependen en gran medida de la naturaleza química del material junto con el tamaño, la forma y otras propiedades fisicoquímicas (EFSA, 2009). Sería necesaria la realización de más estudios acerca de la exposición interna con otros nanoplásticos.

Aunque ni los nanoplásticos ni los microplásticos se clasifican como productos químicos, eventualmente pueden causar unos resultados parecidos en la salud, involucrando al sistema inmunológico, dependiendo de la cantidad de material que obtiene acceso al sistema inmune. En cuanto a los productos químicos, la inmunotoxicidad de los micro y nanoplásticos puede potencialmente ser asociado con varios resultados adversos: inmunosupresión, activación inmunitaria, respuestas inflamatorias anormales y daño y disfunción de órganos. Sin embargo, hasta ahora no se han informado tales efectos. Además, se puede esperar que las enfermedades relacionadas con el tracto gastrointestinal puedan empeorar, ya que la mayoría de las partículas se depositarán en el tracto gastrointestinal y pueden interactuar con los bioprocesos en ese sitio (Powell et al., 2007; Handy et al., 2008), incluidos los de la microbiota.

En conclusión, debido a la falta general de datos experimentales, el riesgo de toxicidad de micro y de los nanoplásticos después de la absorción oral en humanos no pueden evaluarse.

### **Efectos asociados a la transmisión de microorganismos patógenos a través de los micro/nanoplásticos**

Se ha documentado que los desechos plásticos pueden actuar como sustrato para diversas comunidades microbianas (Harrison et al., 2011, 2014; Zettler et al., 2013; McCormick et al., 2014) y que los organismos patógenos que descomponen el plástico colonizan los microplásticos. Además, en el océano se ha demostrado que estas comunidades son distintas de las comunidades microbianas que existen en las aguas superficiales circundantes (Zettler et al., 2013). Sin embargo, se desconoce la relevancia y las consecuencias para la salud humana.

La evidencia muestra que la comunidad microbiana colonizadora, o "Plastisfera", que vive en microplásticos transportados por el agua puede incluir *Vibrio parahaemolyticus*, *V. coralliilyticus*, *V. harveyi*, *V. splendidus*, *V. alginolyticus* y *V. fluviales*, especies bacterianas patógenas productoras de biopelículas, bacterias resistentes a los antimicrobianos (incluso en lugares remotos como la Antártida) y especies de floración de algas nocivas (Kirstein et al., 2016; Lagana et al., 2019; Masó et al., 2007; Rodrigues et al., 2019), así como microorganismos nocivos como los dinoflagelados (*Ostreopsis* spp., *Coolia* spp., *Alexandrium* spp.) (Masó et al., 2003).

Hasta la fecha, no hay datos disponibles sobre la posible presencia de virus en los desechos plásticos, aunque es bien sabido que los virus se adhieren a partículas en el medio ambiente a través de complejas



interacciones reversibles e irreversibles, por lo que su destino y el transporte está asociado con el de las partículas (Tufenkji, 2007; Dang et al., 2008).

### Biofilms

Las biopelículas en el agua de bebida se forman cuando los microorganismos crecen en las tuberías del agua de bebida y otras superficies. Aunque se cree que la mayoría de los microorganismos en las biopelículas son no patógenos, algunas biopelículas pueden incluir microorganismos y patógenos de vida libre como *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella spp.* y *Naegleria fowleri*. Al formar las biopelículas los microorganismos se adhieren más rápido a las superficies hidrófobas no polares, como los plásticos, permitiendo así el transporte a larga distancia de patógenos y, consecuentemente, incrementar la posibilidad de transmisión de resistencias antimicrobianas (WHO, 2019).

#### **4.1.3. Evaluación de la exposición**

Un estudio reciente realizado por la Universidad de Newcastle (Australia) demostró que la cantidad de plástico ingerida por los seres humanos puede ser de cinco gramos por semana aproximadamente, confirmando así la necesidad urgente de abordar la contaminación de los ecosistemas. Este estudio ha ayudado a proporcionar por primera vez un cálculo preciso de las tasas de ingestión. El desarrollo de un método para transformar los conteos de partículas microplásticas en masas ayudará a determinar los riesgos toxicológicos potenciales para los humanos (WWF, 2021).

##### **4.1.3.1. Metodología de análisis**

#### Microplásticos

A pesar de que se han descrito métodos para identificar y cuantificar microplásticos en los productos alimenticios, estos no se encuentran estandarizados, debido tanto a las características intrínsecas de los materiales como a la procedencia de las muestras, por lo que la comparación de datos entre diferentes estudios resulta una tarea complicada (Toledo, 2019).

Además, la garantía de estos métodos no siempre se ha demostrado, ya que es posible que la muestra se haya contaminado por el aire, por los equipos, por la ropa, etc. Para evitar esta interferencia es importante minimizar al máximo el contacto de la muestra con el aire. Es también esencial el uso de blancos de referencia para garantizar la calidad del método. Además, no siempre está claro la manera con la que se identifica una partícula como 'plástico'.

Los métodos incluyen uno o más de los siguientes pasos:

- a. Extracción y degradación de la materia orgánica
- b. Detección y cuantificación del plástico
- c. Identificación del tipo de plástico.

Algunos de los métodos de degradación de la materia orgánica presentan el inconveniente de que degradan en cierto grado algunos plásticos. La cuantificación (enumeración) se hace a simple vista o con ayuda de un microscopio (EFSA, 2016).

En cuanto a la caracterización e identificación del tipo de plástico existen algunas técnicas avanzadas que deberían usarse como definitivas: espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) (Foekema et al., 2013; Lusher et al., 2013) y espectrometría Raman (Murray y Cowie, 2011; Van Cauwenberghe y Janssen, 2014). Para obtener información estructural se aplica la pirólisis, la cromatografía de gases y la espectrometría de masas. La identificación se realiza mediante comparación con espectros o pirogramas estándar del plástico (Fries et al., 2013; Nuelle et al., 2014). Actualmente está en proceso una investigación desarrollada por la Universidad de Alicante, Labaqua e Interlab que se encuentra en la última fase de la que podría ser una de las primeras metodologías estándar para identificar y cuantificar microplásticos de manera rápida, eficaz y económica. Esta técnica permitiría también poder detectar la cantidad y el tipo de aditivos adheridos a estos plásticos (RETEMA, 2021).

### Nanoplásticos

La detección de nanoplásticos en los alimentos es un desafío porque la resolución o el contraste entre los nanoplásticos y la matriz alimentaria son muy bajos, lo que dificulta gravemente los métodos microscópicos. Aún no se han desarrollado métodos para la determinación de nanoplásticos en alimentos, pero se espera que será de aplicación la estrategia analítica que se aplica a los nanomateriales en general. Este enfoque requeriría el aislamiento de los nanoplásticos de la matriz alimentaria, seguido de la separación por tamaño y detección, idealmente incluyendo tanto la identificación como la cuantificación (Rossi et al., 2014).

La extracción de los nanoplásticos de los alimentos podría obtenerse mediante digestión química (utilizando enfoques similares a los descritos para los microplásticos) o digestión enzimática. Después la separación, en función del tamaño, se puede lograr mediante ultrafiltración u otros métodos de separación como el campo de flujo, como el fraccionamiento y la HDC.

Hasta ahora, la caracterización de nanoplásticos y nanopartículas de polímeros no incrustados en matrices complejas se ha realizado mediante TEM (Velzeboer et al., 2014) y HDC combinado con detección UV (Striegel y Brewer, 2012). También la DLS podría usarse (Lambert y Wagner, 2016). La espectroscopia se puede utilizar para caracterizar el material en nanoescala (Dazzi et al., 2012).

Sin embargo, los enfoques y técnicas mencionados anteriormente deberán ser desarrollados para la detección de nanoplásticos en alimentos. Hasta la fecha, los métodos analíticos para nanoplásticos no se han desarrollado lo suficiente para confirmar su presencia en el medio ambiente o la cadena alimentaria (Koelmans et al., 2015).

#### 4.1.3.2. Presencia en los alimentos

### Microplásticos

La mayoría de los datos que existen sobre alimentos contaminados con microplásticos son de especies marinas como pescado, camarones y bivalvos. También se han encontrado microplásticos en otro tipo

de productos alimenticios como la miel, la cerveza, la sal de mesa y el azúcar (JRC, 2017; EFSA, 2016).

En la **Tabla 2** se recoge la información recopilada referida a alimentos de origen marino. Como puede observarse los datos se presentan en diferentes unidades lo que dificulta la interpretación de resultados y estudios.

**Tabla 2.** Contenido medio y tamaño de microplásticos en productos del mar (Tabla de elaboración propia a partir de las referencias citadas en el texto).

Tipo de alimento y procedencia	Contenido medio de microplásticos	Tamaño de microplásticos	Referencia
<b>Pescado</b>			
Peces mesopelágicos y epipelágicos, Pacífico norte	2,1 partículas/pez	>10.000 $\mu\text{m}$ (rango entre 1-10cm)	Boerger et al. (2010)
Peces pelágicos y demersales, canal inglés	1,90 partículas/pescado 184 de los 504 presentaban microplásticos	Desde 130 $\mu\text{m}$ hasta >5.000 $\mu\text{m}$	Lusher et al. (2013)
Pescado comercial, costa portuguesa	1,40 partículas/pescado 17 de las 26 muestras presentaban microplásticos	220-4.800 $\mu\text{m}$	Neves et al. (2015)
Pescado comercial de California	2,03 partículas/pescado	6300-6700 $\mu\text{m}$	Rochman et al. (2015)
Pescado comercial de Sulawesi (Indonesia)	5,03 partículas/pescado		
Peces pelágicos y demersales, mar del Norte y mar Báltico	1-7 partículas/pez	<5.000 $\mu\text{m}$	Rummel et al. (2016)
Pescado de mercados de Australia y Malasia, sardinas y espadines enlatados	1-3 partículas / lata contaminada (cada lata contiene de 2 a 30 sardinas o espadines enlatados)	No hay datos	Karami et al. (2018)
Pescado: <i>Dicentrarchus labrax</i> , <i>Diplodus vulgaris</i> ,	1,67 partículas /pez	<100-500 $\mu\text{m}$	Pellini et al. (2018)
<b>Crustáceos</b>			
Camarón marrón ( <i>Crangon crangon</i> ), sur del mar del Norte, canal inglés	0,75 partículas/g peso húmedo	200-1.000 $\mu\text{m}$	Devriese et al. (2015)
<b>Bivalvos</b>			

<i>Mytilus edulis</i> , mejillones comerciales, de Bélgica. Mejillones silvestres, de espigones y muelles belgas	0,37 partículas/ g peso húmedo	200-1.500 µm	De Witte et al. (2014)
<i>Mytilus edulis</i> , Canadá	34 partículas/g peso húmedo	-	Mathalon and Hill, 2014
Bivalvos comerciales: <i>Mytilus edulis</i>	0,36 partículas / g peso húmedo	5-25 µm (55-100%) >25µm (0-45%)	Van Cauwenberghe and Janssen (2014)
Bivalvos comerciales: <i>Crassostrea gigas</i>	0,47 partículas / g peso húmedo		
Bivalvos comerciales, China	2,1-10,5 partículas/ g	5-250 µm (60%) 5-5.000 µm (40%)	Li et al. (2015)
Ostras comerciales ( <i>Crassostrea gigas</i> ) de California	1,8 partículas/ostra	Promedio de 5.500 µm	Rochman et al. (2015)
<i>Mytilus edulis</i> , costas francesas, belgas y holandesas	0,2 partículas/g	20-90 µm	Van Cauwenberghe et al. (2015)
<i>V. philippinarum</i> , Canadá	Salvajes: 0,84 partículas/g peso húmedo Criados: 1,13 partículas / g peso húmedo	-	Davidson and Dudas, 2016
<i>Perna perna</i> , Brasil	1 partícula / g peso húmedo	<5000 µm	Santana et al., 2016
<i>Mytilus spp.</i> , costa de Escocia	3,2 partículas / g	No hay datos	Catarino et al. (2018)
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (especies cultivadas y salvajes), Italia	6,2-7,2 partículas/ g	Promedio 1.150-2.290 µm	Renzi et al. (2018)
<i>Crassostrea gigas</i> , <i>Mytilus edulis</i> , <i>Tapes philippinarum</i> , <i>Patinopecten yessoensis</i> , Corea del Sur	0,15 partículas/ g	43-4.720 µm (65% <300 µm)	Cho et al. (2019)

Existen una gran cantidad de estudios que demuestran la presencia de microplásticos en diferentes especies de pescado, crustáceos y moluscos en diferentes partes del mundo; corroborando de este modo tanto la gran prevalencia mundial de este peligro y la importante capacidad de distribución que puede tener por el medio acuático.

Todos los productos de la pesca analizados contienen alguna partícula de microplástico, confirmando así la alta probabilidad que presentan estas partículas de entrar en la cadena alimentaria por esta vía.

Es importante resaltar que en el pescado la presencia de microplásticos en el tracto digestivo sugiere que al eliminarse estos tejidos su consumo no constituye una fuente de exposición dietética significativa para la población general. Por el contrario, el consumo de moluscos bivalvos y crustáceos, al incluir el producto completo, debe tenerse en cuenta en la evaluación de la exposición alimentaria a microplásticos.

En la **Tabla 3** se recopila la información disponible en otros alimentos. Entre los alimentos de origen no marino en los que se han analizado los plásticos destacan la sal, la cerveza, la miel, el azúcar y el agua, entre otros.

**Tabla 3.** Contenido medio y tamaño de microplásticos en otros productos alimenticios (Tabla de elaboración propia a partir de las referencias citadas en el texto).

Tipo de alimento y procedencia	Contenido medio de microplásticos	Tamaño de microplásticos	Referencia
<b>Miel</b>			
Miel procedente de supermercados alemanes	0,166 fibras / g	40-9.000 µm	Liebezeit and Liebezeit (2013)
Miel de productores alemanes	0,009 fragmentos/ g	10-20 µm	
Miel procedente de 5 localizaciones diferentes de Suiza	32-108 fibras / kg 8-28 partículas azules / kg	No hay datos	Mühlschlegel et al. (2017)
<b>Cerveza</b>			
Cerveza alemana (diversas marcas)	0,025 fibras/ mL 0,033 fragmentos/ mL 0,017 gránulos/ mL	No hay datos	Liebezeit and Liebezeit (2014)
Cerveza	16 fibras / L 21 fragmentos / L 27 gránulos / L	No hay datos	Lachenmeier et al. (2015)
Cerveza de cervecerías que utilizan agua de los cinco grandes lagos laurencianos en Estados Unidos	4,05 partículas / L	No hay datos	Kosuth et al. (2018)
<b>Sal</b>			
Sal de mesa, supermercados chinos	Sal de mar: 0,550-0,681 partículas/ g Sal de lagos: 0,043-0,364 partículas/ g	45-4.300 µm	Yang et al. (2015)

	Sal de roca: 0,007-0,204 partículas/g		
Sal de mercado de Malasia	1 – 10 partículas / kg	No hay datos	Iñiguez et al. (2017)
Sal, supermercado de Turquía	Sal de mar: 16-84 partículas / kg Sal de lagos: 8-102 partículas / kg Sal de roca: 9-16 partículas / kg	No hay datos	Gündogdu (2018)
Sal de supermercados de Estados Unidos	212 partículas / kg	No hay datos	Kosuth et al. (2018)
<b>Azúcar</b>			
5 variedades de azúcar comercial	217 fibras / kg 32 fragmentos / kg	No hay datos	Liebezeit and Liebezeit (2013)

Se han encontrado gran cantidad de microplásticos en todas las categorías de productos alimenticios analizadas, demostrando una vez más la ubicua presencia de estos materiales en los productos alimenticios. Se puede comprobar también la gran heterogeneidad que presentan estos materiales, ya que se han encontrado microplásticos de diferentes formas incluso en las mismas muestras de producto. Como se ha comentado con anterioridad, esta heterogeneidad puede dificultar la interpretación de éstos.

Como se puede observar en ambas tablas (**Tabla 2** y **Tabla 3**), en algunos casos indica cuantas de las muestras examinadas presentaban microplásticos, pero en muchas otras no. También se puede observar que en algunos estudios sí que especifica el tipo de partículas encontradas, pero no en todos.

Además, la mayoría de los estudios son en productos del mar y hay muy pocos en otros productos. Se debería indagar más sobre el tema y realizar más estudios de detección de presencia de microplásticos en productos diferentes a los procedentes del mar. Sería interesante analizar el contenido de microplásticos que posee la harina de pescado utilizada en los piensos o, incluso, la presencia de microplásticos en carne de cerdo o de pollo, ya que hay evidencias de que puede ser una vía de entrada de estas partículas en la cadena alimentaria humana. Del mismo modo, resultaría interesante estudiar que contaminantes/aditivos poseen adheridos esos microplásticos encontrados.

### Nanoplásticos

Actualmente no existen estudios que analicen la presencia de nanoplásticos en los alimentos; es por este motivo que la cuantificación de partículas plásticas en los productos alimenticios podría estar sesgada, existiendo una infraestimación de la cantidad real debido a que los métodos que existen actualmente no detectan las partículas de menor tamaño.

### 4.1.3.3. Presencia en agua de bebida

#### Microplásticos

Un estudio realizado por la Universidad de Newcastle (Australia) demostró que la fuente más grande en todo el mundo de ingestión alimentaria de microplásticos es a través del agua, tanto embotellada como de grifo. Sin embargo, existen grandes variaciones regionales porque se ha detectado el doble de plástico en el agua de Estados Unidos o la India que en la de Europa o Indonesia (WWF, 2020).

**Tabla 4.** Contenido medio y tamaño de microplásticos en diversos tipos de aguas (Tabla de elaboración propia a partir de las referencias citadas en el texto).

Tipo de agua y procedencia	Contenido medio de microplásticos	Tamaño de microplásticos	Referencia
Agua embotellada de 9 países diferentes (China, Estados Unidos, Brasil, India, Indonesia, México, Líbano, Tailandia, Alemania)	10,4 partículas / L (tamaño > 100 µm) 325 partículas / L (tamaño 6,5 – 100 µm)	-6,5 – 100 µm ->100 µm	Mason et al. (2018)
Agua embotellada, supermercados alemanes	Botellas reciclables: 118 partículas / L Botellas de un solo uso: 14 partículas / L Botellas de cartón: 11 partículas / L Botellas de cristal: 50 partículas / L	No hay datos	Schymanski et al. (2018)
Agua del grifo de distintos países (Cuba, Ecuador, Francia, Alemania, India, Indonesia, Irlanda, Italia, Líbano, Eslovaquia, Suecia, Uganda, Estados Unidos)	5,45 partículas / L	No hay datos	Kosuth et al. (2018)
Agua del grifo de Dinamarca	15,6 partículas / 50 L	>100 µm	Strand et al. (2018)

Investigaciones recientes han informado la aparición de microplásticos en agua potable (Shruti et al., 2020b) y agua embotellada (Akhbarizadeh et al., 2020). Un estudio de Schymanski et al. (2018) confirmó la presencia de entre 28-241 partículas/L en agua embotellada.

Algunos microplásticos que se encuentran en el agua potable pueden provenir del tratamiento y la distribución (OMS, 2019). Asimismo, las botellas y tapones de algunas aguas embotelladas son de plástico, que a su vez pueden ser una fuente de microplásticos en el agua potable (Oßmann et al., 2018; Schymanski et al., 2018).

En diversos estudios la OMS (2019) observó que las concentraciones en las muestras individuales variaron de 0 a 104 partículas / L y los valores medios oscilaron entre 10-103 partículas / L. El tamaño de partícula más pequeño detectado fue de 1 µm, pero este resultado está limitado por los métodos actuales.

No se pueden realizar comparativas entre partículas de microplásticos en agua dulce y en agua embotellada, porque para analizarlo se han utilizado distintos métodos y las unidades son diferentes (OMS, 2019).

#### Nanoplásticos

No existen estudios sobre la presencia de nanoplásticos en agua.

#### **4.1.3.4. Exposición alimentaria**

La EFSA en 2013 ya consideró a los microplásticos y nanoplásticos como un riesgo emergente debido a que la cantidad de residuos plásticos en los océanos está en aumento, existen una gran cantidad de fuentes de producción de plásticos, se ha detectado la presencia de microplásticos tanto en pescado como en marisco de diferentes localizaciones geográficas, gran toxicidad que presentan tanto las micro y nanopartículas plásticas como las sustancias que llevan adheridas tanto para el medioambiente, como para la salud humana y animal.

Las trazas de estos minúsculos fragmentos de polímero ya han sido halladas en alimentos como el pescado, el marisco, los azúcares agregados, el alcohol, el agua e incluso en el aire (Environmental Science & Technology, 2018).

Los datos obtenidos apuntan a que cada ciudadano podría estar ingiriendo entre 70 000 y 120 000 partículas de polímero por año. El consumo de agua embotellada podría implicar hasta 90 000 microscópicos fragmentos de plástico más. Estas cifras, sin embargo, podrían ser tan solo la punta del iceberg. Los responsables de este estudio argumentan que aún faltan datos para evaluar la presencia de microplásticos en nuestro entorno, por lo que los valores obtenidos hasta la fecha podrían haber sido subestimados. Falta investigar, por ejemplo, la presencia de estos compuestos en productos como cereales, verduras, carne de res y aves de corral, que representan las principales fuentes de nutrición a nivel mundial (American Chemical Society, 2019).

Otro estudio realizado por Cox et al. (2019) determinó que, solo contemplando la vía de exposición alimentaria, se estima una ingestión de microplásticos de aproximadamente 39 000 - 52 000 partícula/persona/año.

Según diversos estudios, más de 220 especies acuáticas diferentes ingieren desechos microplásticos en condiciones naturales. El 55 % de ellos son especies que tienen importancia comercial, tales como los mejillones, las ostras, las almejas, el camarón pardo, la cigala, las anchoas, las sardinas, los arenques del Atlántico, el estornino del Atlántico, las macarelas, las bacaladillas, el bacalao atlántico, la carpa común y la corvinata amarilla, entre otros (FAO, 2019).



Los mejillones contienen la mayor cantidad de microplásticos: valor medio de 4 partículas / g (Li et al., 2015). Si se considera la ración como 225 gramos de mejillones por adulto, en un escenario conservador, la ingestión equivaldría a 900 partículas de plástico, lo que representaría 7 µg de plásticos (ACSA, 2019).

Recientemente, Senathirajah et al. (2021) han publicado un estudio en el que estandarizan los datos existentes de gran parte de estudios sobre microplásticos para así poder lograr una correcta evaluación de la exposición. Para determinar el GARMÍ se tuvo en cuenta tanto el ANMP como el AMIMP. Ciertamente es que, a falta de datos, este estudio solo se realizó sobre agua potable, sal, cerveza y mariscos, además solo se tuvieron en cuenta las partículas de tamaño inferior a 1 mm, ya que se ha comprobado que son las que pueden presentar una mayor toxicidad.

Según el estudio de Senathirajah et al. (2021), teniendo en cuenta la ingestión de microplásticos mediante agua potable, marisco, sal y cerveza, la ingestión media estimada a nivel mundial de microplásticos es de entre 11,845 - 193,200 microplásticos /persona/año.

**Tabla 5.** Resumen del número promedio anual de microplásticos (partículas) ingeridos y la tasa promedio mundial de microplásticos ingeridos (g) por persona por año (Senathirajah et al., 2021).

Fuente de partículas	ANMP (partículas)	GARMÍ (g) Supuesto 1	GARMÍ (g) Supuesto 2	GARMÍ (g) Supuesto 3
Marisco	9.445	26,4	0,0	0,0
Sal	565	1,6	7,4	14,2
Cerveza	523	1,46	0,3	0,5
Agua potable	91.994	257,5	0,0	0,0
Total anual	102.527	287,0	7,7	14,7

Como se puede observar en la **Tabla 5**, la cantidad anual ingerida de microplásticos es de 287 gramos por persona y año, solo teniendo en cuenta el consumo de marisco, sal, cerveza y agua potable. Para poder obtener una buena evaluación de la exposición, se requeriría de la cuantificación de microplásticos en otros alimentos de consumo diario y en los que existen evidencias de la presencia de microplásticos.

#### 4.1.3.5. Otras vías de exposición no alimentarias

ELIKA (2020) confirmó que los seres humanos pueden estar expuestos a microplásticos y nanoplasticos por inhalación, ingestión o vía tópica. La entrada de micro y nanoplasticos en el cuerpo humano por inhalación y por vía dérmica ha sido demostrada por estudios independientes (Chang et al., 2020).

En cuanto a la inhalación, existen estudios que han demostrado la presencia de microplásticos en el aire (ACSA, 2019).

Los textiles sintéticos, la erosión de neumáticos sintéticos de goma, y el polvo de las ciudades son una importante fuente primaria de microplásticos, y se estima que los transferidos por el viento son responsables de alrededor de un 7% de la contaminación de los océanos (Boucher and Friot, 2017).

Dris et al. (2017) realizaron un estudio cuantificando la cantidad de microplásticos en el medio ambiente. Los resultados mostraron que, en general, el rango de concentración en el aire interior era de 1 a 60 fibra/m<sup>3</sup>, mientras que en el aire exterior el rango de concentración fue significativamente más bajo estando entre 0,3 y 1,5 fibras/m<sup>3</sup>.

Esta vía de exposición debe tenerse en cuenta debido a que, además de la evidente contaminación medioambiental comentada, los microplásticos presentes en la atmósfera pueden ingresar fácilmente a la cadena alimentaria (Akanyange et al., 2021).

La inhalación de microplásticos atmosféricos está asociada con la mortalidad debida al cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares que ésta puede producir en las personas (Dockery et al., 1993). De hecho, incluso las partículas con baja toxicidad pueden llevar a enfermedades en individuos susceptibles (Heyder, 2004).

El contacto dérmico con microplásticos se considera como la ruta de exposición menos significativa, a pesar de que se cree que los nanoplásticos pueden atravesar la barrera dérmica (Revel et al., 2018). Esta ruta está a menudo asociada con la exposición de monómeros y aditivos de plásticos como, por ejemplo, los ftalatos y el bisfenol A.

Es importante resaltar que en relación a la exposición a estas micropartículas mediante la ingestión, los niños pequeños pueden potencialmente tener una mayor exposición dada la cantidad de plástico en juguetes, vasos y cubiertos hechos para niños. Además, el uso diario de objetos domésticos como cubiertos de plástico, cepillos de dientes, tablas de cortar, tazas, entre otros, también pueden ser fuentes de exposición. Sin embargo, no existen datos sobre tales exposiciones (OMS, 2019).

A pesar de existir distintas vías de exposición de micro / nanoplásticos y que todas ellas deben ser valoradas, se concluye que la vía de exposición de mayor importancia es la vía alimentaria.

#### **4.1.4. Caracterización del riesgo emergente**

En el año 2019, el Comité Científico de la Unión Europea concluyó que los niveles de exposición dietética totales a plásticos, microplásticos y nanoplásticos no pueden ser aún estimados y la caracterización del riesgo no puede concluirse si bien se sugiere que la investigación futura sobre estos contaminantes alimentarios aporte soluciones innovadoras que implementen medidas de mitigación o de minimización de la exposición dietética del hombre. También se pretende en un futuro una mayor regulación de niveles máximos de las principales moléculas de micro y nanoplásticos en las distintas fuentes alimentarias.

En este mismo año la OMS solicitaba no sólo una evaluación exhaustiva de la presencia de microplásticos en el medio ambiente, sino también, de sus efectos en la salud humana.

Debido a la falta de información acerca de este posible riesgo emergente, actualmente se está investigando mucho en el tema y ya existen algunos estudios, como el realizado por Senathirajah et al. (2021), que han obtenido metodologías adecuadas para estandarizar los datos acerca de las concentraciones de micro y nanoplásticos que contienen los alimentos y, así, permitir que posteriormente se pueda realizar una correcta evaluación de la exposición.

### **¿Es un riesgo alimentario?**

Para poder determinar si los micro y nanoplásticos pueden considerarse un riesgo alimentario, hay que valorar tanto la probabilidad de su transmisión alimentaria como la gravedad de los efectos perjudiciales que pueden ser causados tras la exposición por el consumo de alimentos contaminados. Al hablar de riesgo alimentario hay que considerar tanto el peligro, en este caso los micro y nanoplásticos, como todos los compuestos químicos que pueden incrementar el grado de toxicidad de estas partículas ya que, como se ha ido comentando a lo largo de todo el trabajo, en el caso de los micro / nanoplásticos, gran parte de la toxicidad viene causada por las sustancias que lleva adheridas (aditivos, contaminantes químicos, etc.). Se debe tener en cuenta que estas sustancias sí que están caracterizadas, existiendo una cantidad establecida de ingesta máxima de estos compuestos a través de distintas vías. Sin embargo, aún no se ha cuantificado la cantidad de estos componentes a los que son expuestos los seres humanos a través de los microplásticos, pudiendo esto incrementar de una manera relevante su exposición y, consecuentemente, pudiendo suponer un riesgo para la salud.

Como se ha comentado la gravedad no depende solo de las micro y nanopartículas “per se”, la toxicidad de los aditivos y contaminantes adheridos en estos es de relevancia importante. Algunos de estos compuestos, como los ftalatos y los BPA, presentan propiedades carcinogénicas y mutagénicas, son riesgos que no presentan umbral, no existe dosis segura y, por este motivo, independientemente de la cantidad que se consuma, suponen un riesgo para todo tipo de población. Además, también se ha podido comprobar el transporte que estas sustancias pueden realizar de microorganismos patógenos a larga distancia, pudiendo incluso suponer un riesgo biológico. Es por eso por lo que, aún sin poder cuantificar la gravedad del riesgo, debido a que gran parte de los estudios acerca de la toxicidad de estos se han realizado en animales y teniendo en cuenta las incertidumbres que este hecho puede conllevar, la gravedad de los micro y nanoplásticos debería ser considerada como elevada.

En cuanto a la probabilidad, se ha podido comprobar una alta resistencia a la degradación y una elevada persistencia en el medioambiente tanto en el ecosistema acuático, terrestre como atmosférico, presentando así múltiples vías de exposición. A pesar de que no existe una adecuada evaluación de la exposición, se han realizado una gran cantidad de estudios en los que se demuestra una elevada presencia de estos componentes en alimentos, algunos de uso diario y en grandes cantidades como

puede ser el agua. Todos estos factores determinan la alta probabilidad de riesgo que pueden presentar tanto los microplásticos como los nanoplásticos.

El análisis de la gravedad y la probabilidad justifican que este peligro pueda ser considerado como riesgo alimentario. Teniendo en cuenta que la gravedad de este dependerá de la dieta, de los hábitos y tradiciones culinarias y del tipo, intensidad y persistencia de otros estresores ambientales. Se establece una mayor afección de la población que padece estrés (Hoffman, E.U. y Lumpkin, E.A., 2018).

### **¿Es un riesgo alimentario emergente?**

La EFSA (2007) define como riesgo emergente:

Un riesgo emergente para la salud humana, animal y/o vegetal se entiende como un riesgo resultante de un peligro recientemente identificado a los que se puede producir una exposición significativa, o de una inesperada aparición o aumento de la exposición y/o susceptibilidad significativa a un peligro conocido.

La identificación de riesgos emergentes se lleva a cabo mediante el análisis de la bibliografía científica, de alertas y resultados de los programas de control oficial, información procedente de expertos e investigadores, etc. La evaluación de los riesgos emergentes es realizada por los especialistas en cada área de conocimiento, pero en su identificación pueden utilizarse herramientas comunes, para así realizar una evaluación más objetiva. La Red EREN, la cual depende de la EFSA, es la encargada de calificar a los agentes emergentes.

La EFSA (2019) declaró riesgo emergente tanto los microplásticos como los nanoplásticos en sal de mesa y en productos del mar.

Además, existen otros motivos que se han ido comentando a lo largo del trabajo por los que tanto los microplásticos como los nanoplásticos podrían ser considerados como riesgo emergente. Algunos de ellos son el incremento de la producción y, como consecuencia, incremento en cuanto a la presencia en el medio ambiente (Comisión Europea, 2018); la presencia de una gran cantidad de contaminantes adheridos, los cuales se consideran como una nueva vía de exposición de estos, que podría incrementar el peligro que pueden suponer estos compuestos químicos ya presentes en la cadena alimentaria humana (Rochman, 2015; Bouwmeester et al., 2015); y la posibilidad de vehicular diferentes microorganismos nocivos (Masó et al., 2003).

En el año 2012 la EFSA estableció una serie de criterios para la caracterización de un peligro emergente, entre ellos destacan la novedad, la solvencia, la inminencia, la escala, la severidad/gravedad y la exposición nueva o incrementada. A continuación, se procede a caracterizar los micro y nanoplásticos como riesgo emergente a partir de los datos obtenidos y siguiendo la metodología de la EFSA.

La información utilizada para la caracterización de este peligro satisface el criterio de **solvencia**; ya que una gran cantidad de fuentes científicas consistentes, como OMS, FAO, EFSA, AESAN, ELIKA y ACSA, consideran los micro y nanoplásticos como un posible peligro alimentario, el cual todas coinciden en que necesita una mayor investigación.

En cuanto al criterio de **novedad**, se puede afirmar que estos micromateriales se ajustan a la definición de riesgo emergente de la EFSA, ya que su exposición ha aumentado de forma exponencial en los últimos años, debido tanto al incremento de la producción a nivel mundial como a la gran capacidad de persistencia en el medio ambiente que presentan (Comisión Europea, 2018; ELIKA, 2020).

También se debería considerar el **aumento de la exposición** a contaminantes (dioxinas o PCBs) y/o aditivos de los microplásticos. Actualmente se conoce la exposición de estos compuestos por múltiples vías, pero es posible que si se cuantificara la cantidad de estos compuestos que pueden aportar los micro y nanoplásticos, esta exposición aumentara con los problemas para la salud que esto puede comportar (EFSA, 2018).

Desde el punto de vista toxicológico destacan los efectos asociados a las partículas en sí mismas, los componentes químicos que pueden migrar desde las partículas, otros contaminantes ambientales que puedan ser transportados por las partículas y la contaminación microbiana de las partículas. Hay evidencias de que la **gravedad** puede ser considerada alta; ya que se asocian con efectos perjudiciales severos a largo plazo como pueden ser problemas carcinogénicos, reproductivos o mutagénicos, entre otros (ACSA, 2019). Además, Masó et al. (2003) y WHO (2019) también han demostrado que los micro y nanoplásticos pueden vehicular microorganismos patógenos y bacterias resistentes a los antimicrobianos, con el potencial riesgo que este hecho puede suponer. En cuanto a los nanoplásticos, existen estudios que confirman la posibilidad de atravesar determinadas membranas del organismo, pudiendo de este modo afectar a cualquier órgano del cuerpo humano, como el hígado, el corazón y el cerebro (De Jong et al., 2008).

Los micro y nanoplásticos se pueden encontrar de forma ubicua tanto en el medioambiente acuático y terrestre como en la mayor parte de productos alimenticios de todo el mundo, demostrándose de este modo la **inminencia y la distribución a escala mundial** de este peligro. Se han encontrado partículas de microplásticos en océanos y mares como el Pacífico, el mar del Norte y el Báltico; en países de América como en muchos de los estados de Estados Unidos, Canadá y Brasil; países europeos como Inglaterra, Portugal, España, Francia, Bélgica y Holanda; países asiáticos como China, Corea del Sur e Indonesia; y en países de Oceanía como Australia.

Se puede concluir que los micro y nanoplásticos cumplen gran parte de los criterios de emergencia establecidos por la EFSA y pueden ser considerados como riesgo alimentario emergente. De hecho, la EFSA en 2013 ya los consideró como riesgo emergente en base al aumento de residuos plásticos en los océanos, la diversidad de fuentes de producción de plásticos, la detección en pescado y marisco de

diferentes localizaciones geográficas, y la toxicidad que presentan tanto las micro y nanopartículas plásticas como las sustancias que llevan adheridas tanto para el medioambiente, como para la salud humana y animal.

## **Incertidumbres**

### Microplásticos

La cuantificación de los microplásticos no es fácil, en primer lugar, porque la distribución es muy heterogénea y varía mucho en función de la localización; y en segundo lugar porque los métodos existentes de detección aún no están estandarizados. Los estudios disponibles no están realizados con los mismos métodos, ni expresan los resultados con las mismas unidades, lo que dificulta la posible comparación entre estos. Además, los métodos descritos para la degradación de la materia biogénica también degradan parcialmente los plásticos, por lo que presentan inconvenientes para la medición de su cantidad. Ciertamente es un estudio realizado por Senathirajah et al. en el año 2021, ha establecido un método para realizar una correcta evaluación de la exposición y que permite estandarizar los datos existentes, pero este estudio sigue presentando ciertas incertidumbres que pueden proporcionar una infraestimación de la ingesta de microplásticos.

Además, la mayoría de los estudios están enfocados a productos del mar, y si bien es cierto que estos suponen un riesgo potencial, también deberían realizarse más estudios sobre otros alimentos que se ha demostrado que pueden estar contaminados por estas partículas. En cuanto al procesado de los alimentos no existen datos sobre cómo afectan a los procesos como la cocción o el horneado de los alimentos sobre el contenido de microplásticos, ni tampoco sobre el destino de microplásticos o nanoplasticos durante el tratamiento de los productos del mar (ACSA, 2019).

Otras incertidumbres existentes acerca de los microplásticos que planteó la ACSA (2019) son la falta de datos toxicológicos sobre los efectos de los microplásticos “per se”, la falta de información sobre los efectos locales de los microplásticos en el tubo digestivo o sobre la microbiota, la poca información disponible sobre la absorción intestinal y la distribución de las partículas de microplásticos en el organismo, y la prácticamente ausencia de información disponible sobre el metabolismo y excreción de estas partículas, de entre otras.

A pesar de que existe información sobre los principales aditivos de los plásticos y contaminantes adsorbidos como son los ftalatos, el bisfenol A, el PBDE, los HAP y los PCB, faltan datos sobre otros contaminantes químicos.

Por todo esto para los microplásticos es necesario mayor desenvolvimiento de los métodos de identificación, cuantificación, etc. También sería necesaria la estandarización de los métodos usados.

### Nanoplasticos

No hay datos de nanoplasticos ni en cuanto a su exposición, ni en cuanto a su presencia en alimentos, probablemente por falta de estudios. Es por eso que es necesario el diseño de nuevos métodos

específicamente para la detección de nanoplásticos ya que su toxicidad es seguramente mayor que la de los microplásticos y una estimación de su distribución y evaluación de la exposición es muy urgente para permitir una evaluación de riesgos adecuada.

Además, en 2019 la ACSA determinó un elevado número de incertidumbres acerca de los nanoplásticos como son: el desconocimiento sobre si los microplásticos ingeridos son capaces de degradarse a nanoplásticos en el tubo digestivo, la falta de información en cuanto a la biodisponibilidad y consecuencias para la salud humana que estas partículas pueden presentar una vez dentro de las células, y la ausencia de datos acerca de la toxicidad “per se” de los nanoplásticos, entre otras.

Dada la escasa información que existe en torno a la presencia de microplásticos y nanoplásticos en los alimentos, y en particular para las partículas de menor tamaño ( $< 150 \mu\text{m}$ ), así como de su adsorción por el organismo, de su toxicidad y del efecto del procesado, la principal medida es el fomento de la investigación en todas estas áreas detalladas.

Debido a la gran cantidad de incertidumbres comentadas, se concluye que no se puede realizar una buena evaluación del riesgo, la cual sería necesaria para poder valorar si el riesgo se considera aceptable, tolerable o inadmisibles y, en función de eso, establecer las medidas de gestión más adecuadas para este.

## **4.2. Gestión del riesgo**

Como se ha advertido anteriormente en el apartado de evaluación del riesgo, la integración de los microplásticos y derivados en los ecosistemas acuáticos y biológicos es un hecho demostrado cuyo riesgo se considera emergente. Ante ello se postulan medidas de prevención o de control que, aunque significan un esfuerzo, necesitan una coordinación internacional en el proceso de gestión.

Destacamos aquí aquellas líneas de gestión que en la actualidad se están desarrollando:

### **4.2.1. Medidas para limitar las fuentes y las descargas al medio ambiente**

La OMS (2019) recomendó reducir la cantidad de plásticos usados, tanto para proteger el medioambiente como para el bienestar humano. A pesar de que la tendencia internacional es regular la cantidad de microplásticos presentes tanto en los productos alimenticios como en el medio ambiente, todavía existen varias lagunas de conocimiento que deben cubrirse para permitir la gestión de un riesgo realista en la evaluación de microplásticos en productos alimenticios y para permitir el establecimiento de regulaciones adecuadas.

En Europa ya se están tomando medidas para la reducción del uso de plásticos en muchos países, esto contribuirá a frenar la generación de estas partículas y, por consiguiente, su incorporación a los alimentos mediante la Estrategia europea para el plástico en una economía circular (Comisión Europea, 2018; ELIKA, 2020).

Un informe realizado por el WWF (2019) indicó que los gobiernos deben desempeñar un papel clave para garantizar que toda la cadena del sistema de plástico, desde los fabricantes hasta los consumidores, están comprometidos con el objetivo común de acabar con la contaminación plástica. La WWF defiende la adopción de un tratado mundial legalmente vinculante sobre la contaminación marina de plásticos. Este instrumento establecería objetivos nacionales y mecanismos transparentes de información que se extiendan a las empresas, y debería proporcionar apoyo financiero y técnico a los países pobres para mejorar su capacidad de gestión de residuos. Los esfuerzos en este sentido son muy recientes.

El PNUMA ha tratado este tema en varias ocasiones; en 2018 propuso una hoja de ruta de 10 pasos para frenar el desperdicio y en 2019 (PNUMA, 2019a y 2019b), los ministros de 157 países se comprometieron a reducir significativamente los productos de plástico de un solo uso para el 2030 y a modificar el convenio de Basilea de 1989 relativo a la importación de desechos plásticos. El propio PNUMA informó que en 2018 la prohibición o la imposición de impuestos a plásticos de un solo uso era ya una realidad en más de 60 países y países como Reino Unido y Estados Unidos que han desarrollado legislación para eliminar las microperlas de plástico en productos de cuidado personal como exfoliantes y dentífricos (Gobierno de EE.UU., 2015; Gobierno del Reino Unido, 2017).

A nivel europeo también está regulado los plásticos de un solo uso, mediante la Directiva (UE) 2015/720 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2015, la cual establece acciones que deben tomar los Estados Miembros para reducir el consumo de bolsas de plástico ligeras, evitando que se puedan distribuir de manera gratuita a partir del 31 de diciembre de 2018.

Aunque las evidencias sobre sus efectos aún son limitadas, la ECHA propuso a principios de 2019 la restricción de partículas de microplásticos añadidos de forma deliberada a mezclas utilizadas por consumidores o profesionales, esperando con ello reducir las emisiones de microplásticos en 400 000 toneladas en los próximos 20 años. La ECHA puso de evidencia que la concentración de estas partículas en los lodos de depuradoras, que posteriormente se utilizan como fertilizantes, causa la acumulación de las mismas en el medio terrestre y acuático, pudiendo pasar a la cadena alimentaria.

De forma general, a nivel europeo, existe una normativa referente a la basura marina (Directiva 2008/56/EC, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino). Esta Directiva establece que los Estados miembros deben adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado medioambiental del medio marino y cada Estado miembro debe elaborar una estrategia marina para cada región o subregión marina ya que la concentración de la basura marina es muy variable. La normativa exige, igualmente, que sería importante desarrollar más indicadores relacionados con los impactos biológicos y las micropartículas y plantea que deben estudiarse más a fondo las características de las basuras costeras, la composición de las micropartículas, su ingestión y el efecto que pueden producir en los animales marinos.



En 2018, la Comisión Europea propuso una **estrategia de plásticos para Europa**, con medidas en cuatro grandes ámbitos: mejorar la economía y la calidad del reciclaje de plástico, reducir los desechos plásticos y la basura, impulsar la innovación y la inversión hacia soluciones circulares y prácticas sostenibles de fabricación para reducir las entradas de residuos al medio ambiente y participar en los esfuerzos internacionales para minimizar y eliminar los desechos plásticos.

Para el período 2018-2020, la Unión Europea asignó alrededor de 100 millones de euros, en el marco de Horizonte 2020, a proyectos directamente relacionados con la estrategia de la Unión Europea para el plástico, que se suman a los 250 millones de euros ya gastados para entonces en proyectos relacionados con el plástico en el marco de Horizonte 2020.

ELIKA (2019) señaló que alguno de los proyectos europeos en marcha proponen el uso de barcos que limpian los desechos marinos, el uso de drones que permiten entregar y vaciar de forma autónoma y segura en tierra los residuos, desechos o biomasa procedentes de puertos y aguas interiores, la investigación de los efectos de los microplásticos en la microcapa superficial de los océanos, la vigilancia de productos nocivos y el desarrollo de nuevas estrategias de ensayo y evaluación de mezclas químicas encontradas en personas; por último ELIKA insiste en que debe incrementarse la educación y colaboración de la población respecto a la contaminación ambiental de los océanos.

En el año 2019, el SAPEA propuso una serie de recomendaciones que, por su interés, aquí reproducimos: adoptar una definición de biodegradabilidad, priorizar la reducción, reutilización y reciclaje de plásticos antes de considerar el uso de plásticos biodegradables, y apoyar el desarrollo de esquemas de prueba y certificación que evalúen la biodegradación real de plásticos biodegradables en el contexto de su aplicación.

También son importantes las aportaciones de la UNEP, que es un organismo importante en cuanto a la creación de iniciativas y valoraciones sobre los plásticos en el mar como posible riesgo para la salud humana. Otros organismos que participan también en estas iniciativas son la GPML y el GESAMP. Este último publicó en 2015 un artículo sobre el destino y los efectos de los microplásticos en el ecosistema marino y el riesgo para la salud humana.

#### **4.2.2. Medidas para eliminar los micro y nanoplásticos del medio ambiente**

Según los datos aportados por la OMS (2019), el tratamiento de aguas residuales puede eliminar eficazmente más del 90 % de los microplásticos presentes en éstas. Aunque solo hay datos limitados disponibles sobre la eficacia de la eliminación de microplásticos durante el tratamiento del agua potable, dicho tratamiento ha demostrado su eficacia en la eliminación de muchas partículas de tamaño más pequeño y a mayores concentraciones que las de los microplásticos. Por ejemplo, la nanofiltración puede eliminar partículas  $>0,001 \mu\text{m}$ .

Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales y de agua potable no está disponible ni optimizado en muchos países. Aproximadamente el 20 % de las aguas residuales domésticas recogidas en el

alcantarillado no se somete a ningún tratamiento (UNICEF/ OMS, 2019). Es por esto que, en los países con peores condiciones higiénico-sanitarias, los microplásticos pueden existir en mayor concentración en fuentes de agua potable y convertirse en una importante fuente de contaminación para el medio ambiente (OMS, 2019).

Los principales mecanismos para eliminar los microplásticos durante el tratamiento de aguas residuales son la aglomeración en flóculos biológicos seguida de la separación mediante sedimentación, flotación y filtración (Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017a).

Actualmente se están investigando estrategias potenciales para la eliminación de micro y nanoplásticos del medio marino. Por ejemplo, Zhu et al. (2020) demostraron la posible eliminación de plásticos a través de disolución fotoquímica. El proceso de irradiación solar simulada degradó los plásticos en carbonos orgánicos disueltos, que luego fueron digeridos por bacterias en el agua de mar. Sin embargo, esta estrategia es más adecuada para eliminar plásticos fotorreactivos como el polipropileno y el poliestireno expandido.

Otro proyecto en el que está trabajando un grupo de investigadores de la Universidad Técnica de Aquisgrán de Alemania (2019) es en la bioconversión de los plásticos a base de petróleo en plásticos totalmente biodegradables, mediante la utilización de catalizadores bacterianos de ingeniería profunda derivados de la bacteria *Pseudomonas putida*.

Además, un grupo de investigadores de la Universidad de Aveiro ha descubierto que el hongo *Zalerion maritimum* es capaz de degradar los plásticos que se acumulan en el mar en un corto período de tiempo. Se trata de un hongo que habita en algunos mares y océanos, como el Atlántico, tanto en las costas de Portugal como en las de España, además de en algunos territorios, como Australia (Paço et al., 2017).

Otro estudio confirmó que la larva del gusano de la seda (*Galleria mellonella*) puede biodegradar el plástico en etilenglicol, ya sea mediante la alimentación o por un macerado de las larvas (Toledo, 2018).

#### **4.2.3. Alternativas válidas al uso de productos plásticos**

El objetivo de la estrategia europea para el plástico en una economía circular (CE, 2018a) es dar prioridad a elevados niveles de seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, ofrecer un marco claro y fiable para la inversión y la innovación en soluciones de economía circular. La Comisión Europea está decidida a concluir los procedimientos de autorización de más de un centenar de procesos de reciclado seguros. Asimismo, la Comisión Europea, en cooperación con la EFSA, evaluará también la posible autorización del uso seguro de otros materiales plásticos reciclados, por ejemplo, a través de una mejor caracterización de los contaminantes.

Actualmente, está en auge el uso de cierto tipo de plásticos que parecen presentar una mejor degradación: plásticos biodegradables, oxo-biodegradables y de base biológica. Los plásticos

biodegradables pueden ser degradados por microorganismos, convirtiéndose en agua y dióxido de carbono; los plásticos oxo-biodegradables son plásticos de poliolefina convencionales que contienen pequeñas cantidades de sales metálicas que catalizan el proceso de degradación en condiciones favorables; y los plásticos de base biológica están hechos de fuentes biológicas y renovables, y pueden ser más susceptibles a la biodegradación debido a su construcción polimérica más débil.

Estos plásticos especiales se degradan más fácilmente que los plásticos ordinarios y son el resultado de fenómenos oxidativos y mediados por células, simultánea o sucesivamente; sin embargo, se debe tener precaución al considerar los plásticos de base biológica, ya que los que contienen variables proporciones de carbonos renovables y petroquímicos también se pueden etiquetar como ‘plásticos de base biológica’, pero no son fácilmente biodegradables (Tokiwa et al., 2009; Sekiguchi et al., 2011). Como ejemplo, una empresa francesa pionera ha creado una solución soluble para envases de plástico a base de proteínas de la leche (Lactips, 2021).

Otras alternativas estudiadas para evitar el uso de plásticos podrían ser el uso de productos fabricados con escamas de pescado como sustitutivo al plástico para embalajes (Cruz, 2018) o el uso de residuos del plátano como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables (Haro et al., 2017). La Comisión Europea también señala que algunos materiales que alegan propiedades de biodegradabilidad no ofrecen ninguna ventaja medioambiental con respecto a los plásticos convencionales, mientras que su rápida fragmentación en trozos minúsculos es motivo de preocupación (CE, 2018a). Por ese mismo motivo, antes de usar estas alternativas se deberían realizar más estudios.

Cuando no quede otra alternativa al uso de plástico, hay que priorizar el uso del plástico reciclable, ya que permite dar una segunda vida al producto y que no se convierta inmediatamente en un desperdicio.

#### **4.2.4. Monitorización e investigación**

Sin duda alguna, la cuantificación del nivel de contaminación (monitorización) y la investigación aplicada acerca de la caracterización y evaluación de la presencia en microplásticos y nanoplásticos en los productos alimenticios debe contribuir importantemente no solo al conocimiento de este tipo de riesgo emergente sino también a la adopción de sistemas de gestión eficaces y eficientes.

En la actualidad, la mayoría de los estudios están enfocados a productos del mar, hay muy pocos estudios sobre la vigilancia de microplásticos en productos alimenticios y sobre sus efectos en la salud humana. Desde un punto de vista oficial y debido a que no existe una categorización de los micro/nanoplásticos como contaminantes, no existen en la Unión Europea sistemas de vigilancia con respecto a la presencia de estas sustancias en los alimentos.

Hay un artículo reciente (Wong et al. 2020) que ha realizado un análisis bibliométrico (desde el año 2009 hasta el año 2019) de microplásticos y nanoplásticos en las redes alimentarias mundiales.

Por todo ello, las líneas más activas en la actualidad se dirigen a la acumulación de plásticos no biodegradables y sus residuos (Thompson et al., 2009; Jambeck et al., 2015; Shahul et al., 2018; Alimba y Faggio, 2019), la generación de microplásticos secundarios y nanoplásticos (Galloway, 2015; Rocha-Santos; Duarte, 2015; Galloway y Lewis, 2016; Wright y Kelly, 2017; Revel et al., 2018), la liberación de químicos peligrosos durante su fabricación y uso (Dematteo et al., 2013; Biryol et al., 2017; Caporossi y Papaleo, 2017) y el uso de plásticos reciclados (comportamiento y migración) y la transición a un sistema de plásticos sostenible (Geueke et al., 2018; Guillard et al., 2018; Karmaus et al., 2018; Milios et al., 2018; Hatti-Kaul et al., 2019; Hees et al., 2019).

A nivel mundial, la OMS (2019) mediante un informe de la evaluación del riesgo de microplásticos en agua y alimentos, consideró poco preocupante la presencia de estos en los alimentos y no recomendó una monitorización o vigilancia de éstos. En el mismo informe la OMS admitió que la información disponible es limitada, y que se necesita investigar más. Como se ha podido comprobar mediante esta revisión bibliográfica, la tendencia de microplásticos en el ambiente, y a su vez en los alimentos, está en aumento, con lo que puede que en un periodo corto de tiempo sí que sea relevante este peligro para la salud humana.

#### **4.2.5. Regulación y marco legal**

No existe legislación nacional ni comunitaria respecto a la presencia de microplásticos y de nanoplásticos como contaminantes de los alimentos.

Como se ha comentado con anterioridad, cada vez la población se está concienciando más de la importancia que pueden presentar los microplásticos tanto a nivel medioambiental como en cuanto a la seguridad alimentaria, es por eso que se está avanzando en cuanto a la investigación sobre estos.

Durante el periodo de 2013 – 2017 se realizó el proyecto *ECsafeSEAFOOD*, un estudio relevante para la basura marina y la seguridad alimentaria que tenía como objetivo evaluar los problemas de seguridad alimentaria en relación con los contaminantes prioritarios presentes en los mariscos como resultado de la contaminación ambiental, incluidos los microplásticos.

Además, el ICES ha desarrollado protocolos de seguimiento comunes para partículas de plástico en estómagos de peces y mariscos seleccionados.

Por otro lado, están regulados los materiales plásticos en contacto con alimentos, los cuales deben cumplir las disposiciones del Reglamento (UE) N° 10/2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos. En él se establece que los materiales plásticos tienen que cumplir unos requisitos de composición y declaración establecidos en los capítulos II, III y IV y la lista de sustancias autorizadas para la fabricación de plásticos en el Anexo I. Este Reglamento ha sido modificado posteriormente por el 2016/1416, que corrige errores detectados en el texto anterior y recoge nuevos informes publicados basados en dictámenes científicos sobre sustancias autorizadas y materiales.

Asimismo, los materiales plásticos en contacto con alimentos deben cumplir los requisitos establecidos en el Reglamento CE N° 1935/2004 respecto a su uso, etiquetado y trazabilidad, además de haber sido fabricados de acuerdo con el Reglamento CE N° 2023/2006.

A nivel europeo también existe normativa con objeto de minimizar la cantidad de residuos plásticos en el medioambiente. Un ejemplo de esto es la Directiva (UE) 2019/904, aprobada por el Parlamento Europeo y el Consejo el 5 de junio de 2019, destinada a reducir la fabricación y el consumo de los envases de plástico, así como a mejorar la gestión de los residuos de envases de un solo uso.

#### **4.2.6. Estandarización de métodos analíticos para la detección y cuantificación de nano y microplásticos en el medio ambiente, alimentos, tejidos humanos y sangre**

Un eficaz sistema de gestión de riesgos necesita que las interpretaciones analíticas sean reproducibles y validables; por ello parece necesario instaurar sistemas de estandarización de los métodos analíticos en todos los tipos de muestras posibles.

Hay métodos disponibles para la identificación de microplásticos en alimentos, pero los datos son limitados. Por otro lado, para los nanoplasticos no hay métodos disponibles de identificación ni ningún dato.

Los microplásticos son nombrados y clasificados de numerosas maneras (EFSA, 2016), pudiendo este hecho causar una subestimación de su abundancia en el medio ambiente y en los alimentos (Peng, Wang, y Cai, 2017). Además, la OMS (2019) confirmó que la mayoría de los estudios de evidencias de los microplásticos no son considerados como fiables, y que existe necesidad de la realización de estudios sobre microplásticos de mejor calidad y la FAO (2019) afirma que existe una necesidad urgente de desarrollar la capacidad de monitorizar e investigar para profundizar en este aspecto.

Otro desafío es comprender las propiedades fisicoquímicas de los microplásticos, que son extremadamente heterogéneos y representan un desafío significativo para realizar evaluaciones toxicológicas adecuadas (Lambert et al., 2017).

#### **4.3. Comunicación del riesgo**

En los últimos años se han visto incrementadas de forma exponencial el número de campañas, tanto a nivel europeo como internacional, realizadas tanto por organizaciones como por los propios gobiernos para la población civil. La mayoría van orientadas a la contaminación de plásticos y microplásticos en el medio ambiente, a sus consecuencias y a como contribuir a evitar este hecho; pero recientemente se han visto publicaciones periódicas fomentando el estudio de su potencial riesgo para la salud humana. Algunas buenas prácticas que se recomiendan para que la comunicación del riesgo sea eficaz son: determinar las herramientas más adecuadas para que la información llegue a toda la población, que la comunicación sea clara y transparente y que los implicados colaboren en la medida de lo posible.

La mayoría de la información que suministran las bases de datos científicas están orientadas a la presencia de los microplásticos y nanoplásticos en el medio ambiente y sus efectos a este nivel, siendo mucho menor el número de artículos que aporten evidencias de estos contaminantes en alimentos y la mayoría de los artículos se refieren al sector del pescado y productos de la pesca.

Del mismo modo, la normativa respecto a la regulación de estas partículas en alimentos es prácticamente nula, refiriéndose las normas en vigor a la limitación de descargas al medio ambiente o la limitación del uso en productos de uso diario. A este respecto, las Naciones Unidas y la Comunidad Europea vienen organizando programas de concienciación pública sobre el impacto de los micro y nanoplásticos en los ecosistemas y en el ser humano.

Recientemente, Brennholt (2018) informó que se han diseñado varios instrumentos regulatorios a niveles regional y nacional que pretenden monitorear, gestionar o mitigar el impacto de estos agentes en el medio ambiente. En este sentido, las agencias de financiación de los distintos países deben jugar un papel importante facilitando la labor de los investigadores.

La EFSA presenta cierta preocupación acerca de los micro y nanoplásticos en los alimentos y por ese motivo se realizó un coloquio científico en mayo de 2021, el cual lleva el nombre de ‘Un enfoque coordinado para evaluar los riesgos para la salud humana de los microplásticos y nanoplásticos en los alimentos’. En este seminario se llegó a las conclusiones que se han ido comentando a lo largo del trabajo, como la falta de información disponible, la necesidad de desarrollar métodos analíticos armonizados y de una mejor identificación y caracterización tanto de micro como de nanoplásticos, de entre otras (EFSA, 2021).

Además, la ACSA realizó el 19 de noviembre de 2020 una conferencia con el objetivo de hacer reflexionar sobre los micro/nanoplásticos que pueden estar destinados en alimentos destinados a humanos y, también hace referencia a la preocupación de la presencia de estos en el medio ambiente.

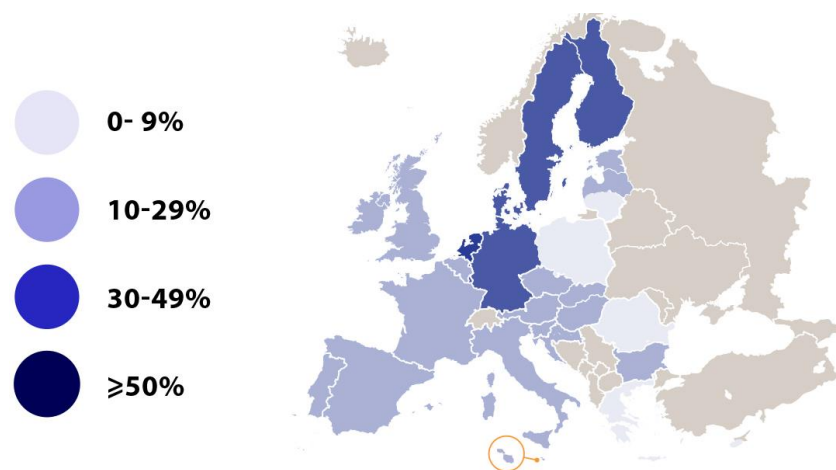
En cuanto a la comunicación para los profesionales de la industria alimentaria, en 2017 la ACSA realizó la jornada de IX Workshop de evaluación del riesgo en la cadena alimentaria, con el objetivo de proporcionar herramientas a estos profesionales que trabajan en el ámbito de la seguridad alimentaria para que participen, organicen y desarrollen tareas de evaluación del riesgo aplicadas a problemas del riesgo, y que se les ayude a la comunicación y gestión del riesgo. En estos talleres se trataba el riesgo de los micro/nanoplásticos en productos alimenticios.

Además, dada la elevada cantidad de microplásticos encontrados en aguas embotelladas, algunas empresas ya están optando por incluir en sus sistemas procesos de microfiltración para reducir los microplásticos en alimentación (Madi Control, 2021).

La comunicación del riesgo a los consumidores es variada, desde actividades educativas realizadas por escuelas sobre los plásticos, a campañas orientadas a la sociedad civil, ya sea mediante anuncios televisivos, conferencias, artículos periódicos, redes sociales, etc.

Actualmente las redes sociales permiten una gran difusión e información acerca de la importancia de microplásticos en el medio ambiente y, como consecuencia, su entrada a la cadena alimentaria.

Este aumento de divulgación se ha visto relacionado con un aumento de la concienciación de los consumidores acerca de este riesgo, viendo por ejemplo como, según datos del INE, en 2019 cada ciudadano español recicló 13,2 kg de envases de plásticos procedentes del hogar, casi 1 kg más por habitante que el año anterior y diez más que en el año 2000.



**Figura 4.** Eurobarómetro 2019: seguridad alimentaria en la UE (EFSA, 2019).

En la mayoría de los países europeos la población consciente del riesgo que suponen los micro y nanoplasticos es baja, según se desprende los datos aportados en el eurobarómetro de la Seguridad Alimentaria de 2019 (**Figura 4**). En el gráfico se puede observar que salvo 5 países (Suecia, Finlandia, Dinamarca, Países Bajos y Alemania) en los que el conocimiento sobre estos compuestos es superior al 30 %, el resto de los países muestran una preocupación y/o conocimiento bajo. La mayor parte de los consumidores son conscientes de la presencia de los micro y nanoplasticos en el medioambiente y de los efectos perjudiciales que puede provocar en éste, pero no los relaciona aún con los posibles efectos adversos para la salud humana. Eso indicaría la necesidad de incrementar las campañas de información acerca de la presencia de microplásticos en los alimentos y los posibles efectos que estos pueden tener para la salud humana.

Aunque las encuestas realizadas por la EFSA a la Unión Europea demuestran que cada vez a los ciudadanos les importa y preocupa más la presencia de microplásticos en los alimentos, aún se está lejos, como se ha comentado, de un total conocimiento por la población.

## 5. Conclusiones

1. La presencia de micro y nanoplasticos en el medio ambiente, especialmente en el medio acuático, es un hecho evidente demostrado a nivel mundial y existen evidencias científicas de



la introducción de estos agentes en la cadena alimentaria a partir de su presencia en el medio ambiente, siendo los alimentos de origen marino y el agua embotellada los productos que han presentado un mayor nivel de contaminación.

2. La información científica disponible denota un elevado grado de incertidumbre acerca de la toxicocinética de estos compuestos en el organismo humano cuando son ingeridos vía alimentaria; este hecho limita de forma importante la caracterización del riesgo en relación con los efectos toxicológicos causados tanto de forma directa como indirecta a medio y largo plazo.
3. De forma adicional, los efectos toxicológicos que conlleva la exposición alimentaria a estos compuestos puede verse agravada por los efectos derivados de la presencia de aditivos y contaminantes químicos y microbianos presentes en las matrices plásticas originales.
4. De la revisión realizada se desprende que es necesario desarrollar métodos analíticos robustos, validados y repetitivos que permitan identificar y cuantificar micro y nanoplásticos en alimentos a fin de conocer el riesgo real de estos agentes y la exposición de los consumidores a través de la dieta. Además, debido a la gran cantidad de incertidumbres existentes acerca de este peligro, la comunicación del riesgo es aún muy limitada.
5. Aunque no existe legislación europea que regule la presencia de micro y nanoplásticos en los productos alimenticios, el estudio llevado a cabo ha puesto de manifiesto numerosas iniciativas con el fin de reducir la presencia de estas sustancias en el medioambiente como principal medida para reducir su exposición.
6. De la revisión efectuada se concluye que la presencia de micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria responde, al menos, a cuatro de los indicadores utilizados por la EFSA para acordar la emergencia de un peligro de naturaleza alimentaria: solvencia, exposición incrementada, severidad probablemente alta y distribución ambiental extrema.
7. La investigación bibliográfica que se ha llevado a cabo constata el alto interés y la preocupación mundial que suscita la presencia de micro y nanoplásticos en los productos alimenticios, interés que se traduce en un incremento significativo de publicaciones científicas relacionadas y en su identificación como nuevo riesgo emergente en la Unión Europea.

## 6. Bibliografía

ACSA. (2019). *“Microplàstics y nanoplàstics en la cadena alimentària. Situació actual.”* Disponible en: [http://acsa.gencat.cat/web/.content/Publicacions/Informes-tecnics/comite\\_cientific\\_assessor/publis/nanoplastics/informeCCA-micro\\_nanoplasticos\\_ES051119ac-003.pdf](http://acsa.gencat.cat/web/.content/Publicacions/Informes-tecnics/comite_cientific_assessor/publis/nanoplastics/informeCCA-micro_nanoplasticos_ES051119ac-003.pdf) [Consultado: 21-03-2021].

AESAN. (2019). *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la presencia y la seguridad de los plásticos como*



*contaminantes en los alimentos.* Disponible en: [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/evaluacion\\_riesgos/informes\\_comite/PLASTICOS\\_ALIMENTOS.pdf](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/PLASTICOS_ALIMENTOS.pdf) [Consultado: 16-11-2020].

AESAN. (2020). *Microplásticos y nanoplásticos.* Disponible en: [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/gestion\\_riesgos/microplasticos\\_nanoplasticos.pdf](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/microplasticos_nanoplasticos.pdf) [Consultado: 16-11-2020].

Akanyange, S.N., Lyu, X., Zhao, X., Li, X., Zhang, Y., Crittenden, J.C., Anning, C., Chen, T., Jiang, T. y Zhao, H. (2021). “Does microplastic really represent a threat? A review of the atmospheric contamination sources and potential impacts.” *Science of The Total Environment*, 777. DOI: 9443/10.1016/j.scitotenv.2021.146020.

Antao, L.G., Dick, A., Lavorante, B., Lundebye, A-K. y Guilhermino, L. (2018). “Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health.” *Marine Pollution Bulletin*, 133, pp. 339-348. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.

Bollaí, C. y Vicente, D. (2020). *Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública.* Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es#B2](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es#B2) [Consultado: 28-04-2021].

CORDIS. (2019). “*From plastic waste to plastic value using pseudomonas putida synthetic biology.*” Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/254167-unique-bacteria-can-help-reconcile-plastics-with-nature/es> [Consultado: 27-03-2021].

Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F. y Dudas, S.E. (2019). “Human consumption of microplastics.” *Environmental Science Technoogy*, 53(12), pp. 7068– 7074. DOI: [10.1021/acs.est.9b01517](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517).

Cruz Fabián, D.R. (2018). *Desarrollo de un producto elaborado con escamas de pescado como alternativa al uso de materiales plásticos.* Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro.

de Haan, W.P., Sanchez-Vidal, A. y Canals, M. (2019). “Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea.” *Marine Pollution Bulletin*, 140, pp. 523-535, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.053.

ECsafeSEAFOOD. Disponible en: <https://www.ecsafeseafood.eu/> [Consultado: 27-03-2021].

EFSA. (2012). “Piloting a process for Emerging Risks Identification: Lessons learnt and next steps”. *EFSA Supporting Publications*, 9(7). DOI: 10.2903/sp.efsa.2012.EN-310.

EFSA. (2012). “Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food”. *EFSA Journal*, 10(12). DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2985.

EFSA. (2016). “Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood.” *EFSA Journal*, 14(6). DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4501.

- EFSA. (2018). “Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food”. *EFSA Journal*, 16(11). DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5333.
- EFSA. (2019). “*Eurobarometer 2019: Food Safety in the UE.*” Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/interactive-pages/eurobarometer-2019> [Consultado: 01-04-2021].
- EFSA. (2019). “*Food safety in the EU. Report. Special Eurobarometer.*” Disponible en: [https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate\\_publications/files/Eurobarometer2019\\_Food-safety-in-the-EU\\_Full-report.pdf](https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/Eurobarometer2019_Food-safety-in-the-EU_Full-report.pdf) [Consultado: 15-11-2020].
- EFSA. (2020). “EFSA’s activities on emerging risks in 2019.” *EFSA Journal*. DOI: 10.2903/sp.efsa.2020:EN-1924.
- EFSA. (2020). “Risk assessment and toxicological research on micro- and nanoplastics after oral exposure via food products.” *EFSA Journal*. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.e181102.
- EFSA. (2021). “*Scientific Colloquium N°25: a coordinated approach to assess human health risks of micro-and nanoplastics in food.*” Disponible en: <http://gallery.blumm.it/efsa-scientific-colloquium/> [Consultado: 15-06-2021].
- ELIKA. (2019). *Bioplásticos sostenibles a base de leche para reducir el daño medioambiental.* Disponible en: <https://sostenibilidad.elika.eus/bioplásticos-sostenibles-a-base-de-leche-para-reducir-el-dano-medioambiental/#:~:text=El%20proyecto%20europeo%20ECOLACTIFILM%2C%20liderado,de%20prote%C3%ADnas%20de%20la%20leche> [Consultado: 21-05-2021].
- ELIKA. (2019). *Soluciones sostenibles e innovadoras frente a la crisis del plástico.* Disponible en: <https://sostenibilidad.elika.eus/soluciones-sostenibles-e-innovadoras-tesis-del-plastico/> [Consultado: 28-11-2020].
- ELIKA. (2020). *Riesgos emergentes 2019: actividades de identificación y caracterización de la EFSA.* Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/riesgos-emergentes-2019-actividades-de-identificacion-y-categorizacion-de-la-efsa/> [Consultado: 13-03-2021].
- ELIKA. (2021). *Dioxinas, furanos y PCBs.* Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/dioxinas-furanos-y-pcbs/> [Consultado: 29-03-2021].
- ELIKA. (2021). *HAPs.* Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/haps/#evaluacion> [Consultado: 29-03-2021].
- ELIKA. (2021). *Micro y nanoplasticos.* Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/micro-y-nanoplasticos/#quees> [Consultado 12-11-2020].
- FAO. (2017). “*Microplastics in fisheries and aquaculture.*” Disponible en: <http://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf> [Consultado: 13-12-2020].
- FAO. (2020). “*Climate change: unpacking the burden on food safety.*” Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca8185en/CA8185EN.pdf> [Consultado: 27-11-2020].

García, C. (2017). “La primera solución ecológica para combatir la contaminación plástica de los océanos ya está aquí.” *ABC*, 29 de junio. Disponible en: [https://www.abc.es/natural/vivirenverde/abci-primera-solucion-ecologica-para-combatir-contaminacion-plastica-oceanos-esta-aqui-201706291138\\_noticia.html#vca=mod-sugeridos-p1&vmc=relacionados&vso=la-primera-solucion-ecologica-para-combatir-la-contaminacion-plastica-de-los-oceanos-ya-esta-aqui&vli=noticia.foto.sociedad](https://www.abc.es/natural/vivirenverde/abci-primera-solucion-ecologica-para-combatir-contaminacion-plastica-oceanos-esta-aqui-201706291138_noticia.html#vca=mod-sugeridos-p1&vmc=relacionados&vso=la-primera-solucion-ecologica-para-combatir-la-contaminacion-plastica-de-los-oceanos-ya-esta-aqui&vli=noticia.foto.sociedad) [Consultado: 10-12-2020].

GESAMP. (2015). “*Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment.*” Disponible en: [https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP\\_microplastics%20full%20study.pdf](https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf) [Consultado: 28-04-2021].

Haro Velasteguí, A.J., Borja Arévalo, A.E. y Triviño Bloisse, S.Y. (2017). “Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos de plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables”. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), pp. 506-525. DOI: 10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.

Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R.J., Spurgeon, D.J. y Lahive, E. (2017). “Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities.” *Science of the total Environment*, 586, pp. 127–141. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.190.

Hunt, K. (2019). “Los microplásticos en el agua potable “no parecen presentar un riesgo para la salud”, dice la OMS.” *CNN*, 22 de agosto. Disponible en: <https://cnnespanol.cnn.com/2019/08/22/los-microplasticos-en-el-agua-potable-no-parecen-representar-un-riesgo-para-la-salud-dice-la-oms/> [Consultado: 15-12-2020].

Kirstein, I.V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Eler, R., Löder, M., Gerds, G. (2016). “Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles.” *Marine Environmental Research*, 120, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.marenvres.2016.07.004.

Kosuth, M., Mason, S.A., Wattenberg, E.V. (2018) “Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt.” *PLoS ONE*, 13(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0194970.

Lactips. (2021). Disponible en: <https://www.lactips.com/>

Laganà, P., Caruso, G., Corsi, I., Bergami, E., Venuti, V., Majolino, D., La Ferla, R., Azzaro, M. y Cappello, S. (2019). “Do plastics serve as a possible vector for the spread of antibiotic resistance? First insights from bacteria associated to a polystyrene piece from King George Island (Antarctica).” *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(1), pp. 89-100. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.08.009.

Liebezeit, G. y Liebezeit, E. (2013). “Non-pollen particulates in honey and sugar.” *Food Additives and Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30, pp. 2136–2140. DOI: 10.1080/19440049.2013.843025.

Liebezeit, G. y Liebezeit, E. (2014). "Synthetic particles as contaminants in German beers." *Food Additives and Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 31, pp. 1574–1578. DOI: 10.1080/19440049.2014.945099.

Madi Control. (2019). *Procesos de microfiltración para reducir los microplásticos en alimentación*. Disponible en: <https://www.madicontrol.com/procesos-de-microfiltracion-para-reducir-los-microplasticos-en-alimentacion/> [Consultado: 04-05-2021].

Masó, M., Garcés, E., Pagès, F., Camp, J. (2003). "Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species." *Scientia Marina*, 67(1). DOI: 10.3989/scimar.

Mason, S.A., Welch, V.G. y Neratko, J. (2018). "Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water." *Frontiers in Chemistry*. DOI: 10.3389/fchem.2018.00407.

Méndez, C. (2021). "Llença'l si el tens a casa; Retiren el pa de motlle d'un conegut súper a Catalunya". *Catalunyadiari*, 22 de enero. Disponible en: <https://catalunyadiari.com/amp/moda/aldi-retira-pa-motlle-plastic?fbclid=IwAR0ThW3NwvNvBxjUlhJfAKNycilD-6GhmGPo4an3RctkZp2gJkF7JPhSJok> [Consultado: 24-01-2021].

Online Browsing Platform. (2020). "*ISO/TR 21960:2020. Plastics-environmental aspects—state of knowledge and methodologies*". Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:21960:ed-1:v1:en> [Consultado: 28-04-2021].

ONU. (2019). *Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos?* Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041> [Consultado: 14-12-2020].

Paço, A., Duarte, K., da Costa, J., Santos, P., Pereira, R., Pereira, M.E., Freitas, A.C., Duarte, A. y Rocha-Santos, T. (2017). "Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*." *Science of The Total Environment*, 586, pp. 10-15. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.017.

Padilla García, A. (2020). *Microplásticos en el medio ambiente*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Jaén.

Pérez Herrera, A. (2019). "Las personas ingieren cada semana el plástico equivalente a una tarjeta de crédito". *ABC*, 12 de junio. Disponible en: [https://www.abc.es/sociedad/abci-personas-ingieren-cada-semana-plastico-equivalente-tarjeta-credito-201906121419\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-personas-ingieren-cada-semana-plastico-equivalente-tarjeta-credito-201906121419_noticia.html) [Consultado: 10-12-2020].

Raffio, V. (2019). "La ingesta humana de microplásticos alcanzará las 120.000 partículas por año." *ElPeriodico*, 5 de junio. Disponible en: <https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20190605/estimacion-ingesta-humana-particulas-microplasticos-7489007> [Consultado: 14-12-2020].

Rainieri, S. y Barranco, A. (2019). "Microplastics, a food safety issue?" *Trends in Food Science & Technology*, 84, pp. 55-57. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.12.009.

Rego, P. (2021). “Tanto microplástico acorta los penes”. *ElMundo*, 23 de abril. Disponible en: <https://www.elmundo.es/cronica/2021/04/23/60794b8521efa09c318b4600.html> [Consultado: 28-04-2021].

Revista técnica de medio ambiente. (2020). *España mantiene la tendencia en el reciclado de envases plásticos domésticos: crece un 8% en 2019*. Disponible en: <https://www.retema.es/noticia/espana-mantiene-la-tendencia-en-el-reciclado-de-envases-plasticos-domesticos-crece-un-lyCzE#:~:text=Sostenibilidad-.Espa%C3%B1a%20mantiene%20la%20tendencia%20en%20el%20reciclado%20de%20envases%20pl%C3%A1sticos,crece%20un%208%25%20en%202019> [Consultado: 05-05-2021].

Rodriguez, J.P., Duarte, A.C., Santos-Echeandía, J. y Rocha-Santos, T. (2019). “Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critical overview.” *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, pp. 252–260. DOI: 10.1016/j.trac.2018.11.038.

Rummel, C.D., Loder, M.G., Fricke, N.F., Lang, T., Griebeler, E.M., Janke, M. y Gerdts, G. (2016). “Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea.” *Marine Pollution Bulletin*, 102, 134–141. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.11.043.

Sánchez Izquierdo, I. (2019). *Microplásticos y su interacción con los antibióticos*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Complutense.

SAPEA. (2020). “Biodegradability of plastics in the open environment.” *Evidence Review Report*, 8. DOI: 10.26356/biodegradabilityplastics.

Schirinzi, G.F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., Barceló, D. (2017). “Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells.” *Environmental Research*, 159, pp. 579–587. DOI: 10.1016/j.envres.2017.08.043.

Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S. y Palanisami, T. (2021). “Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment.” *Journal of Hazardous Materials*, 404(B). DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004

Stock, F., Kochleus, C., Bänsch-Baltruschat, B., Brennholt, N. y Reifferscheid, G. (2019). “Sampling techniques and preparation methods for microplastic analyses in the aquatic environment – A review.” *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 113, pp. 84-92. DOI: 9443/10.1016/j.trac.2019.01.014

Teles, M., Balasch, J.C., Oliveira, M., Sardans, J y Peñuelas, J. (2020). “**Insights on nanoplastics effects on human health**”. *Science Bulletin*, 65(23). DOI: 10.1016/j.scib.2020.08.003.

Toledo Martínez, M<sup>a</sup>.A. (2019). *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano)plásticos en el medioambiente y en la biota marina*. Trabajo Fin de Máster. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Toledo-Perdomo, C.E. (2018). *Un gusano como alternativa para el manejo de desechos plásticos*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Claudia\\_Toledo-](https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Toledo-Perdomo)



Perdomo/publication/340223392\_Un\_gusano\_como\_alternativa\_para\_el\_manejo\_de\_desechos\_plasticos\_Revista\_Analisis\_de\_la\_Realidad\_Nacional\_7150\_97-104\_2018/links/5e7d621e299bf1a91b7f09ef/Un-gusano-como-alternativa-para-el-manejo-de-desechos-plasticos-Revista-Analisis-de-la-Realidad-Nacional-7150-97-104-2018.pdf [Consultado: 14-12-2020].

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V. y Petrillo, M. (2019). “Review of micro- and nanoplastic contamination in food chain.” *Food Additives & Contaminants: part A*, 36(5), pp. 639-673. DOI: 10.1080/19440049.2019.1583381.

UAB. (2020). *Los nanoplásticos alteran el microbioma intestinal y pueden afectar la salud de los organismos acuáticos y la salud humana*. Disponible en: <https://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia/los-nanoplasticos-alteran-el-microbioma-intestinal-y-pueden-afectar-la-salud-de-los-organismos-acuaticos-y-la-salud-humana-1345667994339.html?noticiaid=1345831651780> [Consultado: 02-01-2021].

UNEP. (2015). “*Biodegradable Plastics and Marine Litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments.*” Disponible en: <https://www.wedocs.unep.org> [Consultado: 28-04-2021].

Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B. y Janssen, C.R. (2015). “Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats”. *Environmental Pollution*, 199, pp. 10–17. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.01.008.

Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brenholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Venthaak, A., Winther-Nielsen, M. y Reifferscheid, G. (2014). “Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know.” *Environmental Sciences Europe*, 26, 1. DOI: 10.1186/s12302-014-0012-7.

WHO. (2019). “*Microplastics in drinking water.*” Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf> [Consultado: 28-11-2020].

Wong, S.L., Nyakuma, B.B., Wong, K.Y., Lee, C.T., Lee, T.H. y Lee, C.H. (2020). “Microplastics and nanoplastics in global food webs: A bibliometric analysis (2009-2019).” *Marine Pollution Bulletin*, 158. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111432.

WWF. (2020). *Consumimos el equivalente a una tarjeta de crédito cada semana*. Disponible en: <https://www.wwf.es/informate/actualidad/?50940/Consumimos-el-equivalente-a-una-tarjeta-de-credito-cada-semana> [Consultado: 29-05-2021].

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K. y Kolandhasamy, P. (2015). “Microplastic pollution in table salts from China.” *Environmental Science and Technology*, 49, pp. 13622–13627. DOI: 10.1021/acs.est.5b03163.