



Universidad
Católica de
Valencia
San Vicente Mártir

TFG

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

Microplásticos en productos de origen animal procedentes del mar

Alumna: Andrea Sáez Cubero
Tutora: Alba Rodríguez Mengod
Curso académico: 2023/2024



Facultad de Veterinaria
y Ciencias Experimentales
Universidad Católica de Valencia
San Vicente Mártir

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi familia y a mi pareja por el apoyo sin el que no podría haber comenzado ni finalizado esta carrera, a mis amigas que he conocido durante esta etapa de mi vida y, por último, a la Universidad Católica de Valencia y a mi tutora Alba por la ayuda brindada en la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. La distribución de los microplásticos.	6
1.2. La ingestión de los microplásticos por parte de los animales marinos.	7
1.3. Efectos de los microplásticos en la salud de los organismos acuáticos.	8
1.4. Regulación y marco legal.	8
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4. RESULTADOS	12
4.1. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “seafood”.	12
4.2. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “human health”.	13
4.3. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “food chain”.	14
4.4. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “bioaccumulation”.	15
5. DISCUSIÓN	17
5.1. La transferencia de los microplásticos a través de la cadena trófica.	17
5.2. La llegada de los microplásticos al ser humano.	22
5.2.1. La concentración de microplásticos en las diferentes especies animales.	24
5.2.2. Localización de los microplásticos en los organismos acuáticos.	28
5.2.3. Influencia del modo de consumo de los POA en la transferencia de microplásticos al ser humano.	30
5.3. Efectos nocivos de los microplásticos en la salud humana.	32
5.3.1. Problemas gastrointestinales.	32
5.3.2. Alteración endocrina.	33
5.3.3. Transporte de microorganismos patógenos.	33
5.3.4. Transporte de contaminantes químicos.	34
6. CONCLUSIONES	35
REFERENCIAS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda y resultados obtenidos en las bases de datos “Web of Science” y “PubMed”.	12
Tabla 2. Artículos seleccionados según la base de datos y las diferentes ecuaciones de búsqueda.	16
Tabla 3. Concentración de microplásticos en diferentes especies animales clasificadas según pertenezcan a los moluscos, crustáceos o peces.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de plásticos y sus diferentes usos (Adaptado de Almack, 2021).	3
Figura 2. Especies animales afectados según el tamaño de los residuos plásticos (Adaptado de FAO, 2019).	5
Figura 3. Fuentes de entrada de microplásticos al mar y su transferencia a diferentes especies (Adaptado de Ziani et al., 2023).	6
Figura 4. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “human seafood”.	13
Figura 5. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “human health”.	14
Figura 6. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “food chain”.	15
Figura 7. Selección de artículos relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “bioaccumulation”.	15
Figura 8. Mecanismos de interacción entre los nanoplásticos y la célula algal (Adaptado de Zhu et al., 2021).	18
Figura 9. Transferencia de los microplásticos en la cadena trófica (Adaptado de Mercogliano et al., 2020).	22
Figura 10. Evolución del consumo per cápita mundial de productos procedentes del mar desde 1960 hasta la actualidad.	23
Figura 11. Consumo per cápita anual en Europa de pescado, moluscos y crustáceos en el año 2020.	23
Figura 12. Relación entre la concentración de microplásticos y el nivel trófico.	28
Figura 13. Transmisión de microplásticos al ser humano según procedan del consumo de moluscos, crustáceos o pescado.	31

Figura 14. Concentración media de microplásticos por gramo de tejido analizado en moluscos, crustáceos y pescado.

ABREVIATURAS

AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición

CE: Comisión Europea

EDC: Compuestos disruptores endocrinos

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

EII: Enfermedad Inflamatoria Intestinal

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

HDPE: polietileno de alta densidad

LDPE: polietileno de baja densidad

MP: microplástico

OMS: Organización Mundial de la Salud

PET: polietileno tereftalato

POA: producto de origen animal

PP: polipropileno

PS: poliestireno

PVC: policloruro de vinilo

ROS: especies reactivas de oxígeno

UE: Unión Europea

UV: ultravioleta

RESUMEN

Los microplásticos son partículas con un diámetro de 1 a 5 μm . Se ha observado que aproximadamente 700 especies marinas consumen microplásticos, provocando efectos patológicos en estos animales. Dado que estas especies son importantes para la dieta humana, la presencia de microplásticos representa un riesgo para la seguridad alimentaria y la salud humana al transmitirse a través de la cadena trófica. El objetivo de este Trabajo Fin de Grado ha sido evaluar el riesgo para el consumidor debido a la presencia de microplásticos en productos marinos de origen animal y determinar sus efectos en la salud humana.

Se realizó una revisión bibliográfica de 75 artículos. Los resultados confirmaron la presencia de microplásticos en diferentes niveles tróficos y su transferencia entre especies. La entrada y distribución de microplásticos están influenciadas por los hábitos alimenticios, siendo ingeridos directa o indirectamente. En Europa, el consumo per cápita anual fue mayor en el caso del pescado, seguido de moluscos y crustáceos. Los organismos en la base de la cadena trófica, como moluscos y crustáceos, mostraron mayores concentraciones de microplásticos, mientras que los peces tenían menores cantidades en sus tejidos. La transmisión a los humanos varía según la especie, con el mayor riesgo asociado al consumo de moluscos. Los microplásticos tienen efectos nocivos en la salud humana, incluyendo alteraciones gastrointestinales y endocrinas, y el transporte de patógenos y contaminantes químicos. Se requieren más estudios para determinar los efectos de los microplásticos y desarrollar normativas para reducir su presencia en alimentos.

Palabras clave: microplásticos, moluscos, crustáceos, peces, cadena trófica, salud humana.

ABSTRACT

Microplastics are particles with a diameter ranging from 1 to 5 μm . It has been observed that approximately 700 marine species consume microplastics, resulting in pathological effects on these animals. Due to the significance of these species in the human diet, the presence of microplastics poses a risk to food security and human health. The objective of this Final Degree Project has been to evaluate whether there is a risk to the consumer due to the presence of microplastics in marine animals products and to determine the effects of plastic particles on human health.

A literature review of 75 articles was conducted. The results confirmed the presence of microplastics at different trophic levels and their transfer between species. The entry and distribution of microplastics are influenced by the eating habits of individuals. In Europe, the annual per capita consumption was highest for fish, followed by the consumption of molluscs and crustaceans. Organisms at the base of the food chain, such as bivalve and crustaceans, showed higher concentrations of microplastics, while fish had lower amounts in their tissues. Transmission to humans varies by species, with the greatest risk associated with molluscs consumption. Microplastics have harmful effects on human health, including gastrointestinal and endocrine disruptions, and the transport of pathogenic microorganisms and chemical pollutants. Further studies are needed to determine the effects of microplastics, as well as the development of specific regulations to reduce the presence of microplastics in food.

Key words: microplastics, molluscs, crustaceans, fish, food chain, trophic transfer.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el uso de plásticos está ampliamente extendido, tanto a nivel industrial como doméstico, siendo evidente un marcado incremento en su producción y utilización durante las últimas décadas. El plástico es un material orgánico formado por polímeros, es decir, compuestos químicos que han sido originados por la unión de múltiples unidades más sencillas conocidas como monómeros. Tradicionalmente ha sido sintetizado a partir de derivados químicos del petróleo, aunque en la actualidad se están desarrollando plásticos derivados de fuentes renovables (Rubio et al., 2019). A estos polímeros plásticos se les añaden ciertas sustancias, denominadas aditivos, que son los que le atribuyen al producto final las características deseadas en cuanto a su textura, resistencia a la temperatura, maleabilidad, estabilidad, brillo, etc. Las diferentes combinaciones posibles de estos compuestos y aditivos generan una gran diversidad de clases de plástico. Los polímeros más usados y abundantes son el polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo, poliestireno, polipropileno y polietileno tereftalato (HDPE, LDPE, PVC, PS, PP y PET, respectivamente), constituyendo en su conjunto el 90% de la producción de plástico a escala mundial (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).









 PET	 HDPE	 PVC	 LDPE	 PP	 PS	 OTHER
TEREFTALATO DE POLIETILENO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLICLORURO DE VINILO	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	OTROS
BOTELLAS DE AGUA; RECIPIENTES; TAPONES	BOTELLAS DE GEL/CHAMPÚ; BOLSAS DE LA COMPRA	PRODUCTOS DE LIMPIEZA	FILM DE COCINA; BOLSAS DE PANADERÍA	VASITOS DE YOGUR; PERCHAS	FIAMBRERAS; JUGUETES	BIBERONES; NYLON; CDs
						

Figura 1. Tipos de plásticos y sus diferentes usos (Adaptado de Almack, 2021).

Concretamente, en la actualidad se producen aproximadamente 300 millones de toneladas de plástico al año (Jaime & Hernández-Almaraz, 2018). De este volumen, entre 5 y 13 millones de toneladas (del 1,5 al 4% de la producción mundial) terminan contaminando los océanos (Rubio et al., 2019). Debido a que el plástico es un material no biodegradable, una vez

desechado, no es posible su reintegración a los ciclos moleculares orgánicos (Jaime & Hernández-Almaraz, 2018), por lo que se acumula en el medioambiente.

Se ha observado que entre el 80 y el 85% de los desechos presentes en el mar son plásticos (Rubio et al., 2019). Según Fonseca et al. (2017) y Rojo-Nieto & Montoto (2017), las principales fuentes de contaminación del medio marino son de origen terrestre, suponiendo el 80% del total. Las zonas más críticas incluyen aquellas con un alto nivel de industrialización, las que tienen una densidad de población elevada y las áreas próximas a plantas de tratamiento de residuos. Las fuentes de plástico con un origen terrestre más importantes son:

- Los desechos de construcción.
- Los restos derivados del turismo costero.
- Los residuos procedentes de las actividades agrícolas.
- Los desechos generados a partir del envasado de productos de alimentación y bebidas.
- Las aguas residuales no tratadas, como consecuencia de un control industrial inadecuado.
- Un comportamiento humano inapropiado, vertiendo directamente residuos plásticos al mar.

El 20% restante se origina en los propios océanos, siendo las artes de pesca abandonadas o aparejos perdidos, tales como redes, líneas y boyas, las principales causas. Según la FAO (2019), en el sector de la pesca y la acuicultura se suele usar el plástico para fabricar los materiales empleados en las actividades pesqueras y mantener las embarcaciones. Además, se utilizan cajas y materiales de embalaje de plástico para el transporte y distribución del pescado y los productos pesqueros. Todos estos usos del plástico en el sector conforman una fuente potencial de residuos.

Los plásticos que han alcanzado el medio acuático pierden resistencia y se fragmentan, debido a procesos fisicoquímicos, la exposición a la luz solar y a la radiación ultravioleta (UV), la oxidación o a la acción física del oleaje y las corrientes. Es importante destacar que esta fragmentación no es una degradación, ya que el polímero es más pequeño, pero no se altera su composición química. Estos fragmentos plásticos se clasifican según su tamaño (Jaime & Hernández-Almaraz, 2018; FAO, 2019):

1. Nanoplásticos: partículas con un diámetro menor a 1 μm .
2. Microplásticos: partículas con un diámetro comprendido entre 1 μm y 5 mm.
3. Mesoplásticos: partículas con un diámetro comprendido entre 5 mm y 2,5 cm.

4. Macroplásticos: partículas con un diámetro comprendido entre 2,5 cm y 1 metro.
5. Megaplásticos: plásticos con un tamaño superior a 1 metro.

El tamaño es un factor determinante en el estudio de los residuos plásticos en el mar, ya que influye en el grado de afectación de las especies marinas. En la Figura 2, puede observarse la relación entre los grupos de animales afectados y el tamaño de los residuos plásticos.

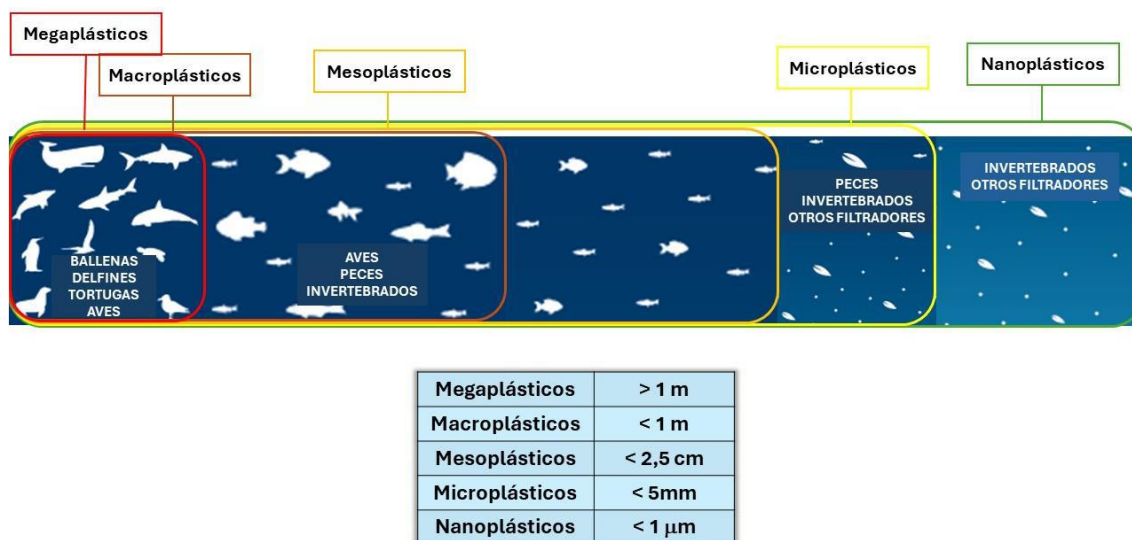


Figura 2. Especies animales afectadas según el tamaño de los residuos plásticos (Adaptado de FAO, 2019).

A su vez, los microplásticos pueden clasificarse según su origen en primarios y secundarios (Rojo-Nieto & Montoto, 2017; Rubio et al., 2019):

1. Microplásticos primarios: son aquellos fabricados originalmente para tener ese tamaño. Se pueden encontrar en productos de higiene personal, tales como la pasta de dientes y productos cosméticos, en fibras textiles derivadas del lavado de ropa, y en diferentes presentaciones de medicamentos en la industria farmacéutica. Estos llegan al medio marino a partir de las aguas residuales, debido a que los sistemas de depuración no son capaces de eliminarlos, o a través del aire.
2. Microplásticos secundarios: se originan a partir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño, debido a la radiación solar (UV) y otros procesos ya mencionados anteriormente. Esta fragmentación, que puede ser muy variada en función de la causa que la genere, conlleva la decoloración de los plásticos, el desarrollo de erosiones en su superficie y un aumento de su fragilidad. En este caso, pueden alcanzar el medio marino por dos vías: la vía acuática, a partir de los equipos de pesca y las aguas residuales de

embarcaciones, y/o la vía terrestre, a partir de bolsas de plástico, materiales de envasado y los desechos de la industria de plásticos.

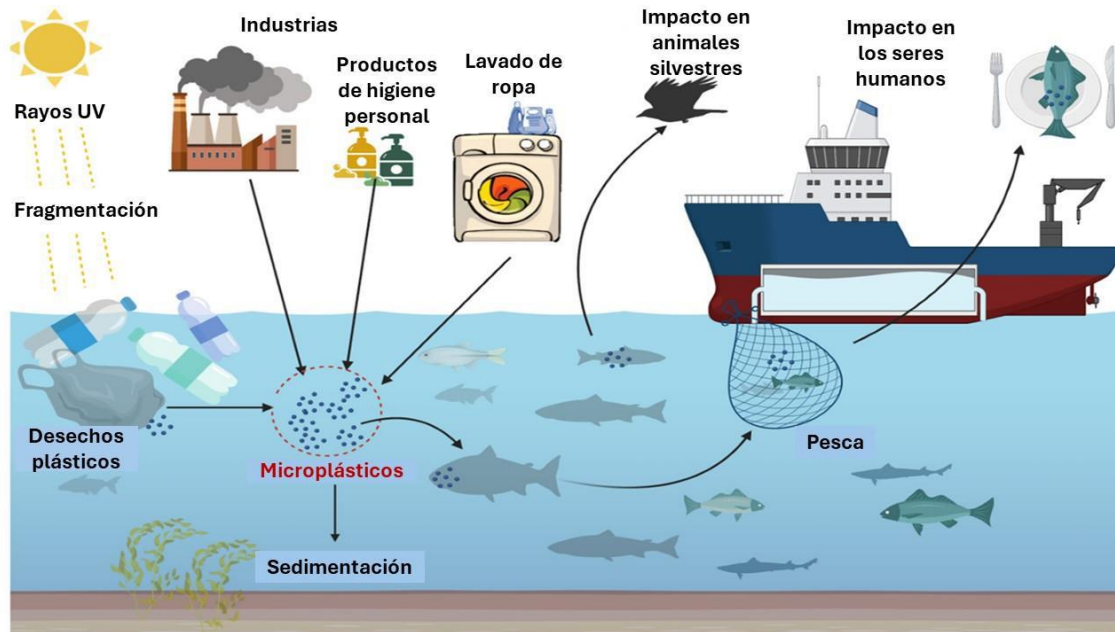


Figura 3. Fuentes de entrada de microplásticos al mar y su transferencia a diferentes especies (Adaptado de Ziani et al., 2023).

Además, los microplásticos pueden ser clasificados según otros parámetros, como la forma o el color que tengan. En cuanto a la forma, estos se pueden diferenciar en fibras, pellets y fragmentos. Las fibras tienen una longitud mucho mayor que su anchura y grosor; los pellets son esféricos; y los fragmentos son partículas irregulares y aplanadas, con un pequeño grosor. Por otro lado, el color de los microplásticos depende tanto del color original del objeto plástico del cual ha derivado, como del proceso de degradación del polímero. Además, puede verse influenciado por la presencia de contaminación externa. Los colores más comunes son negro, azul, blanco, transparente, rojo y verde. Es importante destacar que el color del microplástico puede influir en su ingestión por parte de las especies marinas. Concretamente, estas especies muestran una preferencia por los microplásticos transparentes y los blancos, siendo los más consumidos (Borriello et al., 2023).

1.1. La distribución de los microplásticos

La distribución global de los microplásticos en el medio acuático ha aumentado constantemente en las últimas décadas (Galgani et al., 2015). Una vez en el mar, los

microplásticos son transportados mediante las corrientes oceánicas, donde persisten y se acumulan (Lusher, 2015). Las características físicas de los polímeros plásticos, incluida su densidad, pueden influir en su distribución en la columna de agua, de manera que los microplásticos que tengan una menor densidad flotan en la superficie, mientras que los más densos o aquellos contaminados por la biota se hunden en el fondo del mar (Lusher, 2015). Normalmente, estos materiales flotan en la superficie del mar ya que son menos densos que el agua marina. Sin embargo, la flotabilidad y la densidad de los plásticos pueden cambiar durante su estancia en el mar debido a la erosión y a la bioincrustación, es decir, el acúmulo indeseable de microorganismos, plantas, algas y/o animales sobre estos (Galgani et al., 2015). Por ello su distribución es irregular, pudiendo encontrarse suspendidos en la columna de agua, en aguas superficiales, en la costa, estuarios, playas, sedimentos de aguas profundas, y también en ríos (Lusher, 2015).

Suspendidos en la columna de agua, los microplásticos pueden quedar atrapados por las corrientes oceánicas y acumularse en las regiones oceánicas centrales. Los giros oceánicos y las zonas convergentes oceánicas son áreas de elevada acumulación de desechos, ya que este patrón de rotación de las corrientes produce una alta concentración de plástico y atrae los fragmentos hacia las áreas centrales. Como estos giros oceánicos están presentes en todos los océanos del mundo, la acumulación de microplásticos ocurre globalmente (Lusher, 2015), y especialmente en los giros del Pacífico Norte y el Atlántico Norte (FAO, 2017). Además, la distribución también se ve influenciada por el viento, que afecta al movimiento vertical de los microplásticos (Lusher, 2015).

1.2. La ingestión de los microplásticos por parte de los animales marinos

Debido a su amplia distribución y a su pequeño tamaño, los organismos acuáticos como por ejemplo los peces, el zooplancton, los crustáceos, los bivalvos y las ballenas ingieren estas partículas. De hecho, tras realizar diversos estudios estas partículas han sido detectadas en 728 especies de peces en todo el mundo (Subaramaniyam et al., 2023). La biodisponibilidad de los microplásticos para los peces está influenciada por diversos factores, como por ejemplo sus hábitos alimenticios: los peces filtradores son más vulnerables a la ingestión que los peces depredadores, debido a su comportamiento alimentario no selectivo. Además, los peces omnívoros ingieren una mayor cantidad de microplásticos que los herbívoros y carnívoros (Bhuyan, 2022). Por otro lado, las partículas con un aspecto similar a presas naturales tienen más probabilidades de ser ingeridos por aquellos peces que se alimentan visualmente.

Asimismo, la densidad de los microplásticos también afecta a la probabilidad de que los peces los encuentren y los consuman: los peces pelágicos, es decir, los que habitan en las zonas más superficiales del mar, tienen una mayor probabilidad de encontrar microplásticos de baja densidad; mientras que los peces demersales, aquellos que habitan en las áreas más profundas, tienen una mayor probabilidad de encontrar microplásticos de densidad elevada (Bhuyan, 2022).

1.3. Efectos de los microplásticos en la salud de los organismos acuáticos

Después de su ingestión, los microplásticos producen efectos nocivos en la salud de las especies acuáticas, destacando los siguientes (Subramaniyam et al., 2023):

1. Acumulación en el tracto gastrointestinal, obstrucción y bloqueo del sistema digestivo, lo que implica una falsa sensación de saciedad y la reducción de la capacidad alimentaria, además de un daño físico.
2. Retraso en el crecimiento, disbiosis y reducción del peso.
3. Adhesión a la piel, con la consecuente transferencia a tejidos como branquias, músculos e hígado.
4. Entrada al sistema sanguíneo y/o linfático.
5. Cambios en el comportamiento, por ejemplo, alteraciones en la alimentación, natación, depredación y búsqueda de alimento.
6. Alteraciones en el sistema inmunitario.
7. Daño en órganos reproductivos y alteración de la reproducción.
8. Retención de los microplásticos en algunos órganos, lo que provoca estrés oxidativo.
9. Genotoxicidad y alteraciones en la expresión génica.
10. Neurotoxicidad, daño neuronal y alteración de la estructura cerebral.

1.4. Regulación y marco legal

Los peces y otros organismos acuáticos, como los moluscos y los crustáceos, son una importante fuente alimentaria para los humanos. Por esta razón, la presencia de microplásticos en los ecosistemas marinos y los efectos perjudiciales que estos producen sobre los animales pueden influir en la seguridad alimentaria. Según el Programa CE-FAO (2011), “la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfacen sus necesidades

energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”. Los cuatro pilares fundamentales de la seguridad alimentaria son:

1. La disponibilidad física de los alimentos, es decir, que exista una cantidad suficiente de alimentos.
2. El acceso económico y físico a los alimentos.
3. La utilización de los alimentos, lo cual se entiende como la forma en la que el cuerpo aprovecha los nutrientes presentes en dichos alimentos.
4. La estabilidad en el tiempo de los tres pilares anteriores.

Para que puedan cumplirse los objetivos de la seguridad alimentaria, los cuatro pilares deben suceder simultáneamente. Sin embargo, según De la Torre (2020), la presencia de microplásticos en los organismos marinos compromete los pilares de disponibilidad y utilización de los alimentos. Tras su ingestión, los microplásticos producen los efectos nocivos anteriormente mencionados en estos seres, además de transferirse a través de la red trófica y producirse una bioacumulación en animales de mayor tamaño. Debido a esto, el consumo de productos marinos podría representar una vía de ingreso de los microplásticos a la dieta humana, suponiendo un riesgo para la salud de las personas.

Es importante destacar que, en el año 2014, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) identificó a los microplásticos y nanoplásticos como un nuevo riesgo emergente en su informe Update on EFSA’s activities on Emerging Risks 2012-2013, el cual trata sobre las actividades en riesgos emergentes que se realizaron durante ese periodo de tiempo (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2021). Según la EFSA (s/f), un riesgo emergente puede definirse como:

- Un riesgo derivado de un peligro nuevo, en relación con el cual puede producirse una exposición significativa.
- Una exposición o predisposición nueva o incrementada a un peligro conocido de manera inesperada.

A pesar de que estas partículas ya han sido identificadas como riesgos emergentes en la Unión Europea, actualmente no existe ninguna legislación, ni nacional ni comunitaria, que regule la presencia de microplásticos como contaminantes en los alimentos (AESAN, 2021).

Sin embargo, sí que existe una regulación en cuanto a los materiales plásticos en contacto con alimentos, los cuales deben cumplir las disposiciones indicadas en el Reglamento (UE) Nº 10/2011 sobre materiales y objetos plásticos a entrar en contacto con alimentos. En él se establecen los requisitos específicos para la fabricación y comercialización de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.

Además, los materiales plásticos en contacto con alimentos deben cumplir los requisitos establecidos en el Reglamento (CE) Nº 1935/2004 sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, el cual especifica las disposiciones respecto a su uso, etiquetado y trazabilidad.

Por último, cabe destacar la existencia a nivel europeo de normativas que tienen el objetivo de minimizar la cantidad de residuos plásticos en el medio ambiente. Por ejemplo, la Directiva (UE) 2019/904 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente, tiene como objetivo prevenir y reducir los efectos de los materiales plásticos en el entorno, especialmente el medio acuático, y en la salud humana. Además, pretende promover la transición hacia una economía circular y mejorar la gestión de los residuos de envases plásticos de un solo uso.

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta la importancia que representan los peces y otras especies marinas para la alimentación humana, los objetivos de este Trabajo Final de Grado son:

1. Evaluar si el consumo de productos de origen animal procedentes del medio marino supone un riesgo para el consumidor, considerando la posible presencia de microplásticos en dichos productos.
2. Identificar si existen diferencias entre las especies marinas en cuanto a su capacidad para actuar como vectores en la transmisión de microplásticos a los seres humanos.
3. Determinar los potenciales efectos de los microplásticos en la salud de las personas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica basada en la búsqueda de documentos científicos obtenidos en las siguientes bases de datos: “Web of Science” y “PubMed”. La revisión se realizó mediante el uso de ecuaciones de búsqueda, compuestas por palabras clave y el operador booleano “AND”. Las ecuaciones de búsqueda empleadas fueron: “microplastics” AND “seafood”, “microplastics” AND “human health”, “microplastics” AND “food chain” y “microplastics” AND “bioaccumulation”. Además, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el propósito de delimitar los artículos utilizados para dar respuesta a los objetivos del presente Trabajo Final de Grado:

1) Criterios de inclusión:

- a. Estudios científicos publicados durante los últimos 5 años (2020-2024).
- b. Artículos científicos publicados en inglés y español.
- c. Artículos de revisión, entendiéndose como artículo de revisión al estudio bibliográfico en el que se recopila, analiza, sintetiza y discute toda la información publicada sobre un tema.
- d. Artículos publicados en revistas Q1. Según Mondragon Unibertsitatea (2017), los rankings de revistas de cada categoría temática se dividen en cuartiles. Estos cuartiles ordenan las revistas de mayor a menor en cuanto al índice o factor de impacto:
 - Q1: grupo formado por el primer 25% de las revistas del listado.
 - Q2: grupo que se posiciona entre el 25% y el 50%.
 - Q3: grupo que ocupa del 50 al 75%.
 - Q4: grupo que está situado entre el 75% y el 100%.

Por lo tanto, las revistas con una mayor importancia son aquellos que ocupan el primer cuartil, Q1, y por ello únicamente los artículos publicados en este tipo de revistas serán seleccionados para realizar la presente revisión bibliográfica.

2) Criterios de exclusión:

- a. Artículos científicos publicados con anterioridad al año 2020.
- b. Artículos científicos publicados en idiomas distintos al inglés y al español.
- c. Otro tipo de artículos diferentes al artículo de revisión.
- d. Artículos publicados en revistas con alcance Q2, Q3 o Q4.

4. RESULTADOS

Tras la aplicación de las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos “Web of Science” y “PubMed” y teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión, se obtuvieron 879 y 293 resultados respectivamente, proporcionando un total de 1.172 resultados tal y como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1.

Ecuaciones de búsqueda y resultados obtenidos en las bases de datos “Web of Science” y “PubMed”.

ECUACIONES DE BÚSQUEDA	RESULTADOS DE LAS BASES DE DATOS		
	Web of Science	PubMed	TOTAL
MICROPLASTICS AND SEAFOOD	48	19	67
MICROPLASTICS AND HUMAN HEALTH	529	157	686
MICROPLASTICS AND FOOD CHAIN	178	74	252
MICROPLASTICS AND BIOACCUMULATION	124	43	167
TOTAL	879	293	1.172

Según los resultados de la Tabla 1, se puede observar que las ecuaciones de búsqueda que mostraron la mayor cantidad de resultados fueron aquellas relacionadas con los efectos de los microplásticos en la salud humana y en la cadena trófica. Además, el mayor número de resultados de todas las ecuaciones de búsqueda se obtuvo en “Web of Science”.

4.1. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “seafood”

En PubMed, de los 19 artículos iniciales, se restringió la búsqueda a los artículos de revisión publicados en revistas científicas con alcance Q1, obteniéndose 13 artículos. Tras la lectura del título y del resumen se seleccionaron un total de 11 artículos que respondían de forma adecuada a los objetivos establecidos en este Trabajo de Fin de Grado.

Asimismo, para poder reducir y concretar la búsqueda en la base de datos Web of

Science para la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “wild seafood”, de los 48 artículos de revisión obtenidos se restringió la búsqueda a los resultados publicados únicamente en revistas científicas con alcance Q1, obteniendo 32 resultados. De estos, se eliminaron por duplicidad un total de 9 artículos, los cuales estaban duplicados en PubMed. Finalmente, se seleccionaron un total de 7 artículos tras la lectura del título y del resumen. En la Figura 4, se explica el procedimiento de selección de los artículos y el número de las publicaciones finalmente seleccionadas de cada base de datos con un total de 18 publicaciones.

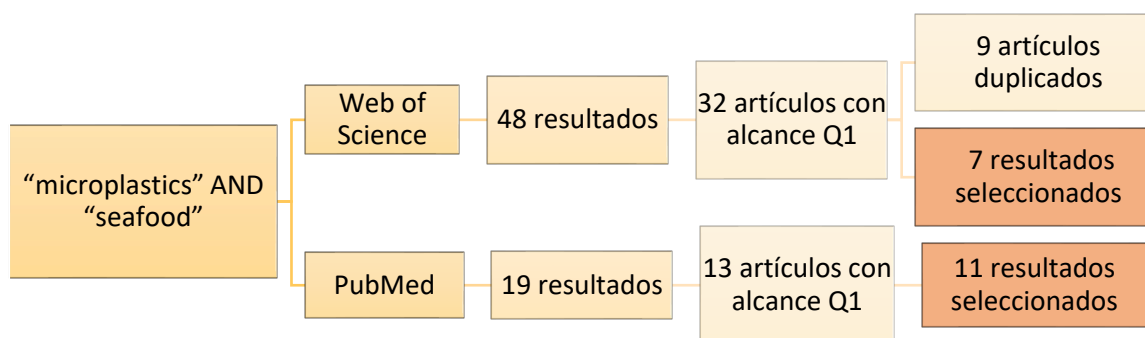


Figura 4. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “seafood”.

Tras la lectura de estas 18 publicaciones seleccionadas, se realizó una búsqueda posterior de 5 artículos más, uno de ellos publicados por la EFSA, uno publicado por la AESAN y tres publicados por la FAO. De estos cinco documentos, tres fueron publicados con anterioridad al año 2020, concretamente en 2016, 2017 y 2019; sin embargo, por la relevancia de la información proporcionada en dichas publicaciones, fueron seleccionadas a pesar de no estar dentro de los criterios de inclusión. En total, se obtuvieron 23 publicaciones, que se centraban en el estudio de la presencia de microplásticos en diferentes especies marinas con interés comercial, tales como peces, crustáceos y moluscos.

4.2. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “human health”

Para la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “human health”, en la base de datos Web of Science se encontraron 529 resultados por lo que se acotó la búsqueda añadiendo el operador boleano “AND” y una nueva palabra clave: “risk”, obteniendo 155 resultados. A continuación, se restringió la búsqueda a los resultados publicados únicamente en revistas científicas con alcance Q1, obteniendo 103 resultados. Tras la lectura del título y el resumen de dichos artículos, un total de 11 artículos fueron seleccionados.

En PubMed, de los 157 resultados iniciales, se obtuvieron 87 artículos tras realizar un filtrado y seleccionar únicamente los estudios realizados en la especie humana. De los 87 artículos encontrados, únicamente fueron seleccionados 58, ya que habían sido publicados en revistas con alcance Q1. Tras la lectura del título y el resumen de los artículos publicados en revistas con alcance Q1, se seleccionaron 16 artículos. En la Figura 5, se puede observar el procedimiento de selección de los artículos y el número de las publicaciones seleccionadas de cada base de datos.

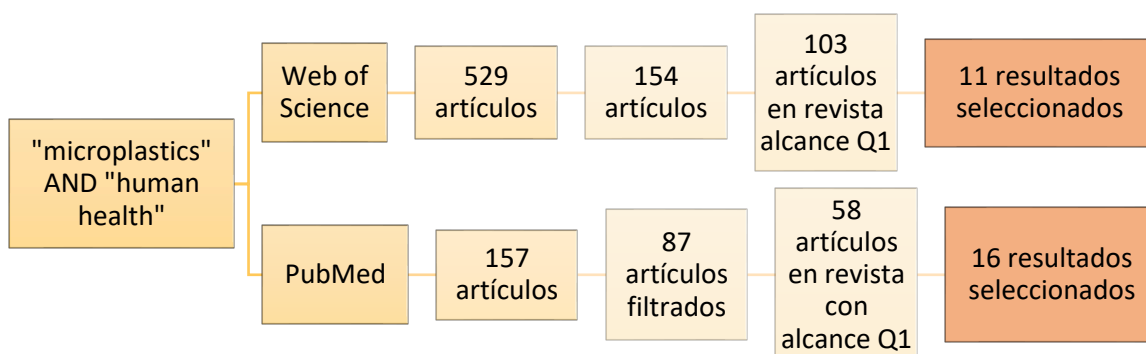


Figura 5. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “human health”.

Tras la lectura de los 27 resultados seleccionados, se realizó una búsqueda posterior en la que se obtuvo un libro de interés científico publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2022, por lo que se incluyó en la revisión bibliográfica. En esta publicación se contemplan las implicaciones de la exposición a los microplásticos para la salud humana.

4.3. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “food chain”

Los resultados obtenidos para la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “food chain” en Web of Science y PubMed fueron 178 y 74 resultados respectivamente con un total de 252 artículos.

De los 178 resultados obtenidos en Web of Science, fueron seleccionados 123 artículos, los cuales habían sido publicados en revistas científicas con alcance Q1. Tras la lectura del título y el resumen de todos los artículos, se seleccionaron un total de 13 resultados. En PubMed, de los 74 resultados iniciales, 62 fueron publicados en revistas científicas con alcance Q1. Tras la

lectura del título y el resumen de todos los artículos, se seleccionaron un total de 7 publicaciones. En la Figura 6, se muestra el procedimiento de selección de los artículos empleados en el Trabajo de Fin de Grado.

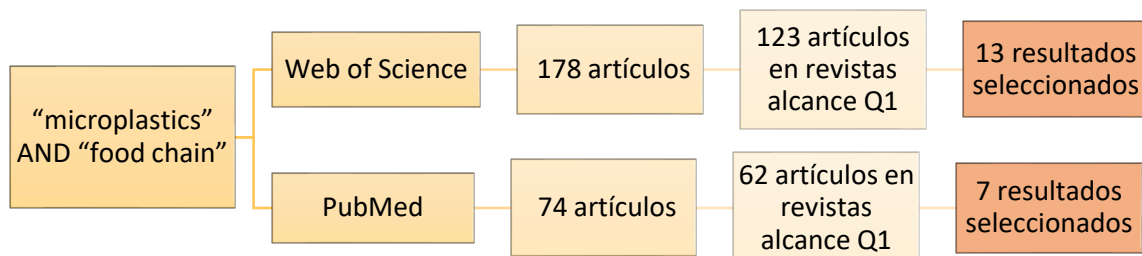


Figura 6. Selección de los resultados relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “food chain”.

4.4. Resultados del análisis bibliométrico “microplastics” AND “bioaccumulation”

Para la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “bioaccumulation”, en Web of Science se obtuvieron 124 resultados. De estos, 60 artículos habían sido publicados en revistas de alcance Q1. Tras la lectura del título y el resumen, 2 artículos fueron seleccionados. En PubMed se obtuvieron 43 artículos, de los cuales, 33 habían sido publicados en revistas científicas con alcance Q1. Tras la lectura del título y resumen de dichos artículos, se seleccionaron un total 8. En la Figura 7 se muestra el proceso de selección seguido para esta ecuación de búsqueda en cada base de datos utilizada.

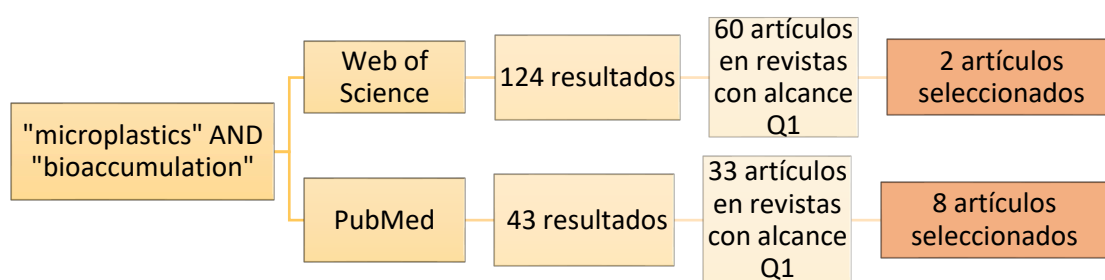


Figura 7. Selección de artículos relacionados con la ecuación de búsqueda “microplastics” AND “bioaccumulation”.

Finalmente, del total de 1.172 resultados que pueden observarse en la Tabla 1, únicamente se seleccionaron 75 publicaciones, como se indica en la Tabla 2. Esta selección se realizó aplicando los criterios de inclusión y exclusión a los resultados obtenidos en cada ecuación de búsqueda en las bases de datos Web of Science y PubMed.

Tabla 2.

Artículos seleccionados según la base de datos y las diferentes ecuaciones de búsqueda.

ECUACIONES DE BÚSQUEDA	RESULTADOS DE LAS BASES DE DATOS		
	Web of Science	PubMed	TOTAL
MICROPLASTICS AND SEAFOOD	7	11	18
MICROPLASTICS AND HUMAN HEALTH	11	16	27
MICROPLASTICS AND FOOD CHAIN	13	7	20
MICROPLASTICS AND BIOACCUMULATION	2	8	10
TOTAL	33	42	75

Al realizar la búsqueda de publicaciones para este Trabajo de Fin de Grado, se encontró que la base de datos que proporcionó el mayor número de publicaciones seleccionadas fue "PubMed". Además, la ecuación de búsqueda con mayor relevancia en cuanto a artículos seleccionados fue "microplastics" AND "human health".

5. DISCUSIÓN

5.1. La transferencia de los microplásticos a través de la cadena trófica

La presencia de microplásticos se confirma, aproximadamente, en 700 especies acuáticas distribuidas a nivel mundial. Entre ellas, destacan una gran variedad de especies que son comúnmente consumidas en la dieta humana, como la merluza europea (*Merluccius merluccius*), la sardina (*Sardina pilchardus*), la caballa (*Scomber scombrus*), el lenguado común (*Solea solea*), el atún rojo (*Thunnus thynnus*), el boquerón (*Engraulis encrasicolus*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*), el mero (*Epinephelus marginatus*), la barracuda (*Sphyræna sphyraena*) y el eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*). También se encuentran en multitud de crustáceos como la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*), los langostinos (*Penaeus spp.*), los cangrejos (familia Bracyura), la cigala (*Nephrops norvegicus*), y en los moluscos, tales como los mejillones (*Mytilus spp.*), la almeja japonesa (*Ruditapes philippinarum*), las ostras (*Ostrea spp.*), el calamar (*Loligo vulgaris*), la vieira (*Pecten maximus*), los berberechos (*Cerastoderma edule*) y los bígamos (*Littorina littorea*) (Vitali et al., 2023; Boriello et al., 2023). Además de en estas especies ampliamente destinadas a la alimentación del ser humano, los microplásticos también pueden acumularse en organismos planctónicos (Liu et al., 2024).

En particular, los peces, los moluscos bivalvos, los crustáceos y el plancton tienen roles muy significativos en la red trófica, que consiste en la relación de alimentación que se establece entre las especies dentro de un ecosistema (Benson et al., 2022). Estos individuos pueden consumir microplásticos directamente o alimentarse de otros organismos que ya los contengan, y, de esta manera, son transportadas a través de esta red, facilitando su llegada hasta los seres humanos (Liu et al., 2024; Zhang et al., 2023). Según la EFSA (2016), bajo condiciones experimentales se evidencia el potencial de los microplásticos para transferirse a través de los diferentes niveles tróficos, integrados, entre otros, por el fitoplancton, el zooplancton, los moluscos, los crustáceos y los peces.

a) El fitoplancton como punto de entrada de los microplásticos a la cadena trófica

En el primer nivel trófico se encuentran los organismos productores o autótrofos. Estos seres crean su propio alimento mediante fotosíntesis, utilizando materia orgánica, luz solar, dióxido de carbono y agua (Benson et al., 2022). Un ejemplo de organismo autótrofo es el fitoplancton, que incluye a las cianobacterias fotosintéticas procariotas y a las algas eucariotas

(Liu et al., 2024). Miller et al. (2020) afirman que los productores primarios interactúan con los microplásticos, ya que las partículas plásticas pueden unirse a la superficie externa de los organismos. Además, según Liu et al. (2024), en diversos estudios se confirma que los microplásticos de mayor tamaño son capaces de impedir la realización de la fotosíntesis, ya que dificultan la penetración de la luz, mientras que los nanoplásticos pueden causar un daño físico sobre las algas adhiriéndose a su superficie. Asimismo, existen evidencias que indican que las células algales son capaces de ingerir microplásticos y nanoplásticos. A modo de ejemplo, en el experimento descrito por Liu et al. (2024), se demuestra que el fitoplancton marino *Platymonas helgolandica* var *Tsingtaoensis*, tras ser expuesto a microplásticos de diferentes tamaños (entre 1 y 5 μm) durante un periodo de 72 horas, es capaz de internalizar aquellas partículas que presentaban tamaños comprendidos entre 1 y 2 μm . De esta manera, ya sea debido a la adhesión de los plásticos a la superficie del fitoplancton o a su ingestión, los organismos autótrofos suponen un punto de entrada de los microplásticos a la red alimentaria. En la Figura 8 se observan los principales mecanismos de interacción de las partículas plásticas con las células algales: el bloqueo de la luz solar, el daño físico y la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), que pueden dañar la pared celular, la membrana celular y otros orgánulos como el núcleo y los cloroplastos (Zhu et al., 2021).

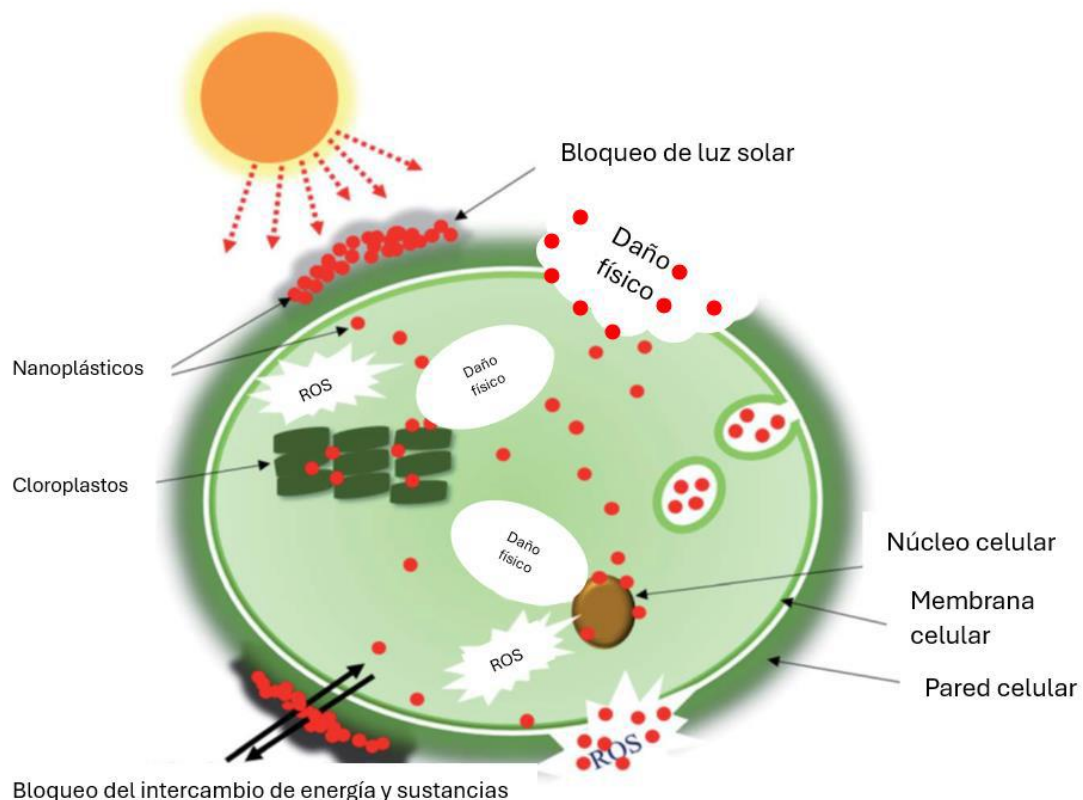


Figura 8. Mecanismos de interacción entre los nanoplásticos y la célula algal (Adaptado de Zhu et al., 2021).

b) Relación entre zooplancton y microplásticos

El zooplancton es un consumidor primario que se alimenta de los organismos autótrofos (Benson et al., 2022; Miller et al., 2020). Contribuye de una manera fundamental en la dinámica de la red trófica, ya que sostiene a un gran grupo de especies carnívoras (Mercogliano et al., 2020). Además, es considerado uno de los grupos más susceptibles a los efectos negativos de los microplásticos, debido a que existe una gran similitud entre el tamaño de estos plásticos y el fitoplancton, que es su principal fuente de alimento (Liu et al., 2024). Mercogliano et al. (2020) describen la detección de microplásticos en diversas especies zooplanctónicas (*Chaetognatha*, *Copepoda* y *Salpida*). Por otro lado, Liu et al. (2024) detallan que, en diversos estudios realizados recientemente, se confirma la presencia de microplásticos en grupos de zooplancton presentes en el mar Árabe (océano Índico), en el estrecho de Fram (océano Ártico), en los estrechos de Kattegat y Skagerrak (océano Atlántico) y en el estuario de río Yangtsé (China). La presencia de microplásticos en diversas especies y en grupos de zooplancton tan ampliamente distribuidos confirma la ingesta de partículas plásticas por parte de este consumidor primario y que, por lo tanto, facilita la transferencia de los microplásticos a través de la red trófica.

c) Moluscos bivalvos como reservorio de partículas plásticas

Los moluscos bivalvos son organismos filtradores que pertenecen al grupo de consumidores primarios (Benson et al., 2022; Miller et al., 2020). Se alimentan filtrando agua a través de sus branquias y, de esta manera, capturan partículas en suspensión como el plancton y las microalgas (Walkinshaw et al., 2020). Debido a que la filtración es una estrategia de alimentación no selectiva, los moluscos son susceptibles a acumular una gran concentración de plásticos (Fehrenbach et al., 2022; Borriello et al., 2023). Liu et al. (2024) describen dos vías de captación de microplásticos: la captura por ingestión a través de las branquias, y la inhalación a través del sifón. Una vez inhalado, los microplásticos son transportados a la boca y distribuidos a otros órganos. Sin embargo, Li et al. (2021) concluyen que existen tres rutas para la captura de los microplásticos: la ingestión, la adherencia y la integración.

- Ingestión: es la ruta más relevante para la captación de microplásticos. Walkinshaw et al. (2020) describen la capacidad de *Crassostrea virginica* y *Mytilus edulis* para ingerir microplásticos de manera selectiva, dependiendo de las características físicas del plástico. Las partículas plásticas son ingeridas si poseen propiedades similares al alimento natural de los individuos, por ejemplo, en el tamaño y la forma. Por ello, los

moluscos filtradores son altamente susceptibles a ingerir microplásticos, debido a la semejanza entre el tamaño de los plásticos y sus presas naturales (Liu et al., 2024).

- Adherencia: las partículas plásticas pueden permanecer adheridas a la superficie de órganos como las branquias o el manto de los mejillones.
- Integración: los microplásticos son capaces de integrarse en algunos órganos, tales como el biso de los mejillones. De esta manera, no solo permanecen en la superficie del órgano, sino que constituyen una parte del tejido.

La gran variedad de rutas de incorporación de microplásticos en los organismos filtradores es un indicador de su capacidad para actuar como reservorio de partículas plásticas.

d) Crustáceos

Los crustáceos presentan diferentes estrategias de alimentación, por lo que pueden ser clasificados en varios niveles tróficos. Los copépodos y otros crustáceos de pequeño tamaño forman parte de los consumidores primarios, ya que son organismos filtradores y se alimentan de plancton y materia en suspensión (Mercogliano et al., 2020). Por ello, del mismo modo que los moluscos bivalvos, suponen un reservorio de partículas plásticas. Debido a que los copépodos y el krill suponen una importante fuente de alimento para especies consumidas por los humanos, conforman una vía de entrada de los microplásticos en la cadena trófica y facilitan su llegada al ser humano (Walkinshaw et al., 2020).

Algunas especies de crustáceos forman parte de los consumidores secundarios, ya que presentan una alimentación omnívora o carnívora. Por ejemplo, algunos langostinos se alimentan de moluscos, pequeños crustáceos y peces que, como ya se indica anteriormente, pueden contener microplásticos acumulados en su tracto gastrointestinal (Mercogliano et al., 2020). Fehrenbach et al. (2022) describen la presencia de microplásticos en la cigala, *Neprhops Norvegicus*, y en el camarón, *Crangon crangon*, mientras que Gopal et al. (2022), detallan su presencia en *Metapenaeus monocerus* y *Penaeus monodon*. Además, Santonicola et al. (2023) describen concretamente la presencia de microfibras plásticas en *Pleoticus muelleri*, *Metapenaeus monocerus*, *Penaeus monodon*, *Neprhops norvegicus*, *Carcinus aestuarii* y *Carcinus maenas*. Walkinshaw et al. (2020) confirman la transferencia trófica de microplásticos del mejillón azul (*Mytilus edulis*) al cangrejo verde europeo (*Carcinus maenas*) observadas en condiciones de laboratorio. Además, Santonicola et al. (2023) describen en otro estudio

realizado sobre *C. maenas* que los microplásticos pueden ser retenidos en el tracto gastrointestinal durante más de dos semanas, siendo un periodo de tiempo mayor en el caso de las microfibras. Debido a este resultado, los cangrejos podrían suponer un importante papel en la transferencia de microfibras a niveles tróficos superiores, incluyendo a *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax* y *Anguilla anguilla*, especies ampliamente consumidas por el ser humano.

e) Peces

Los peces pueden ser clasificados como consumidores primarios, secundarios o terciarios. Algunos peces, tales como las sardinias (*Sardina pilchardus*), son organismos filtradores incapaces de seleccionar las partículas que ingieren. Según Mercogliano et al. (2020), se observa que las hembras de *S. pilchardus*, durante la primavera y el verano (el periodo de desove), filtran de manera indiscriminada tanto pequeños organismos planctónicos como microplásticos en suspensión, confundiéndolos con sus presas.

En el nivel trófico de los consumidores secundarios se encuentran aquellos peces que presentan una alimentación omnívora o carnívora. Walkinshaw et al. (2020) describen la capacidad de *Decapterus muroadsi* de ingerir selectivamente microplásticos de color azul, debido a su similitud en color y en forma con su presa natural: los copépodos azules *Pontella sinica* y *Sapphirina spp.*

El nivel trófico de los consumidores terciarios, individuos que se alimentan de los consumidores secundarios, está conformado por los depredadores tope, tales como los tiburones, delfines y ballenas (Benson et al., 2022), y peces como *Thunnus thynnus*, *Thunnus alalunga* y *Xiphias gladius* (Mercogliano et al., 2020). En el caso de los depredadores, se pueden distinguir dos vías de exposición a los microplásticos: una vía primaria, en la que ingieren microplásticos durante la caza, y una vía secundaria, a través de las presas de las que se alimentan y que contienen microplásticos.

Por todo lo descrito anteriormente, se confirma la presencia de microplásticos en los diferentes niveles de la cadena trófica y la capacidad de transferencia entre especies. Se puede observar que la entrada y distribución de los microplásticos en la red trófica está altamente influenciada por los hábitos alimenticios de los individuos, pudiendo ser ingeridos de manera directa y errónea al ser confundidos con el alimento natural o de manera indirecta al consumir

individuos que los contienen. En la Figura 9, se observa la transferencia de los microplásticos a través de los diferentes niveles tróficos.

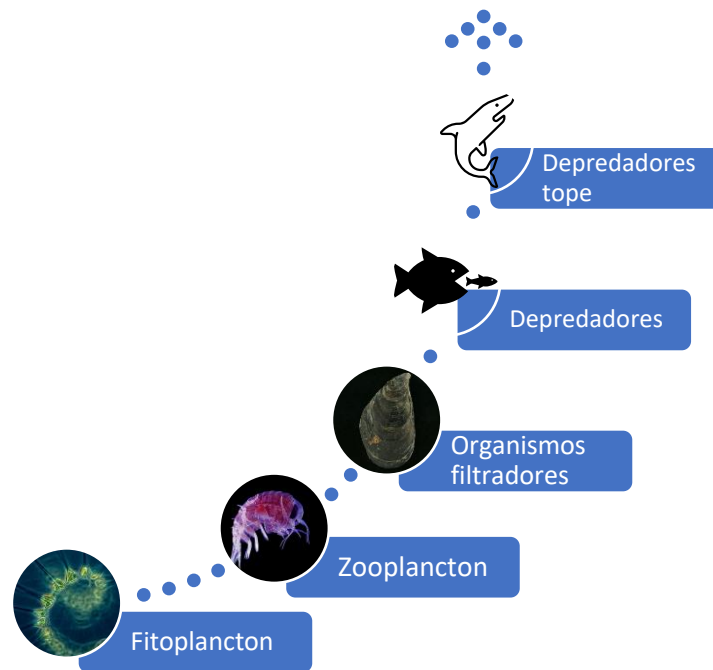


Figura 9. Transferencia de los microplásticos en la cadena trófica (Adaptado de Mercogliano et al., 2020).

5.2. La llegada de los microplásticos al ser humano

El consumo per cápita anual a nivel mundial de alimentos procedentes del mar ha aumentado considerablemente en las últimas décadas. Según la FAO (2022), se observa un crecimiento desde un consumo medio de 9,9 kg en la década de 1960 a 11,4 kg en 1970, 12,5 kg en la década de 1980, 14,4 kg en la década de 1990, 17,0 kg en los 2000 y 19,6 kg en la década de 2010. Se produjo un récord de consumo en 2019, con 20,5 kg. En 2020, hubo un menor consumo debido a una menor demanda (20,2 kg), seguido de un incremento en el año 2021 (Figura 10).

En Europa, en el año 2019 el consumo per cápita anual fue de 21,1 kg (FAO, 2022). Concretamente, en 2020 el consumo por persona y año de pescado fue de 18,17 kg, 3,42 kg de moluscos y 1,70 kg en el caso de los crustáceos (Breuer, 2023) (Figura 11). Este dato confirma que los productos procedentes del mar poseen un importante papel en la nutrición humana. Por lo tanto, los efectos nocivos de los microplásticos en la ecología marina pueden afectar a la alimentación de los humanos y a su salud.

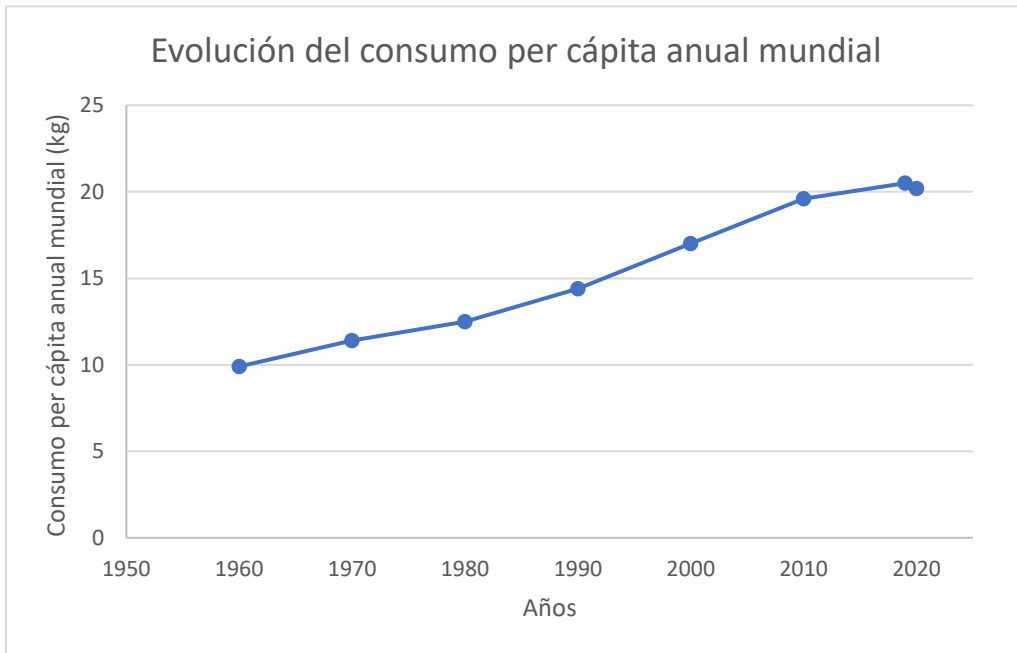


Figura 10. Evolución del consumo per cápita mundial de productos procedentes del mar desde 1960 hasta la actualidad.

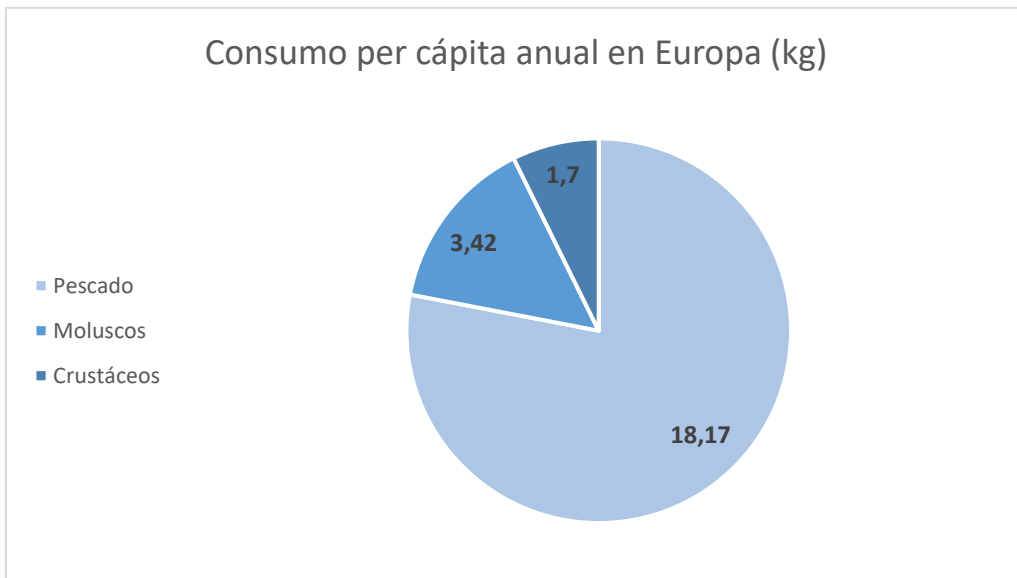


Figura 11. Consumo per cápita anual en Europa de pescado, moluscos y crustáceos en el año 2020.

Jiang et al. (2020) explican que en recientes estudios se evidencian microplásticos en las heces de humanos, lo que sugiere que hay una exposición a las partículas plásticas a través de la cadena trófica. Según Mercogliano et al. (2020), la vía principal de exposición de los humanos a microplásticos es la ingestión de comida contaminada. Se estima un consumo de 39.000-52.000 partículas plásticas por persona al año, de las cuales 37-1.000 proceden de sal marina, 4.000 de agua embotellada, mientras que 11.000 partículas plásticas proceden de moluscos bivalvos y crustáceos. Sin embargo, Li et al (2021) concluyen que, según un informe publicado por la FAO, la media de microplásticos ingeridos por el ser humano debido al consumo de crustáceos y moluscos podría aumentar hasta 27.825 ítems al año. En consecuencia, se puede observar que no todos los alimentos influyen de la misma forma en la transmisión de microplásticos a los humanos. En el caso de los productos de origen animal (POAs) procedentes del mar, esta transferencia varía por diferentes causas, entre las que destacan: la cantidad de partículas plásticas que son capaces de acumular, la localización en la que las partículas se acumulan dentro de los organismos y el modo de consumo de las diferentes especies marinas en la dieta humana.

5.2.1. La concentración de microplásticos en las diferentes especies animales

En el caso de los moluscos, crustáceos y peces se evidencian diferencias en la cantidad de plástico que son capaces de acumular. En la Tabla 3, se muestra la concentración de microplásticos en diferentes especies animales clasificadas según sean moluscos, crustáceos o peces. La concentración es expresada en microplástico por gramo de muestra analizada o en microplástico por individuo analizado. En las diferentes investigaciones consultadas, el término “microplástico” hace referencia a la unidad de partícula plástica encontrada en el interior del individuo estudiado.

Tabla 3.

Concentración de microplásticos en diferentes especies animales clasificadas según pertenezcan a los moluscos, crustáceos o peces.

	MUESTRA	PAÍS O REGIÓN	CONCENTRACIÓN	ALIMENTACIÓN	REFERENCIA
MOLUSCOS	Almeja arco (<i>Scapharca subcrenata</i>)	China	10,5 MP/g	Filtrador	De-la-Torre et al. (2020)
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Italia	6,2-7,2 MP/g	Filtrador	Rubio et al. (2019)
	<i>Mytilus spp.</i>	Francia	4 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	<i>Ostrea spp.</i>		3,24 ± 1,02 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	<i>Mytilus spp.</i>	Escocia	3,0 ± 0,9 MP/ g	Filtrador	Rubio et al. (2019)
	Bígaro (<i>Littorina littorea</i>)	Irlanda	2,14 MP/g	Herbívoro	Yuan et al., (2022)
	<i>Mytilus spp.</i>	Reino Unido	1,5 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	<i>Mytilus spp.</i>	España, Bélgica y Francia	1,5 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	<i>Ostrea spp.</i>	China	0,62 MP/g	Filtrador	Liu et al. (2024)
	Ostra rizada (<i>Crassostrea gigas</i>)		0,6 ± 0,9 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	Ostra rizada (<i>Crassostrea gigas</i>)		0,47 ± 0,16 MP/g	Filtrador	Rubio et al. (2019)
	Mejillón común (<i>Mytilus edulis</i>)		0,36 ± 0,07 MP/g	Filtrador	Rubio et al. (2019)
	Almeja japonesa (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	República de Corea	0,35 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	Vieiras	República de Corea	0,08 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
	<i>Ostrea spp.</i>	República de Corea	0,07 MP/g	Filtrador	OMS (2020)
Gamba moteada (<i>Metapenaeus monoceros</i>)	Bangladesh	3,87 ± 1,05 MP/g	Omnívoro	Gopal et al. (2022)	

CRUSTÁCEOS	Langostino jumbo (<i>Penaeus monodon</i>)	Bangladesh	3,40 ± 1,23 MP/g	Omnívoro	Gopal et al. (2022)
	Quisquilla (<i>Crangon crangon</i>)	Bélgica	1,92 MP/g	Planctívoro/ hervívoro	OMS (2020), Rubio et al. (2019)
	Langostino tigre verde (<i>Penaeus semisulcatus</i>)		1,5 MP/g	Planctívoro/ herbívoro	Walkinshaw et al. (2020)
	Gamba (<i>Parapenaeopsis hardwickii</i>)	China	0,25 MP/g		Zuri et al. (2023)
	Camarón blanco indio (<i>Fenneropenaeus indicus</i>)	China	0,040 ± 0,070 MP/g		Zuri et al. (2023)
	Cigala (<i>Nephrops norvegicus</i>)	Cerdeña, Mar Mediterráneo	5,5 ± 0,8 MP/individuo	Carnívoro	Gopal et al. (2022)
	Gamba roja del mediterráneo (<i>Aristeus antennatus</i>)	Cerdeña, Mar Mediterráneo	1,66 ± 0,1 MP/individuo	Carnívoro	Gopal et al. (2022)
PECES	Caballa del sur (<i>Scomber japonicus</i>)		0,0025 – 0,33 MP/g	Planctívoro	Walkinshaw et al. (2020)
	<i>Trachurus spp</i>		0,000126 – 0,14 MP/g	Planctívoro	Walkinshaw et al. (2020)
	Anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>)		0,057 MP/g	Planctívoro	Walkinshaw et al. (2020)
	Arenque (<i>Clupea harengus</i>)		0,01 MP/g	Planctívoro	Walkinshaw et al. (2020)
	<i>Konosirus punctatus</i>	China	0,0026 MP/g	Planctívoro/ Piscívoro	Zuri et al. (2023)
Corvinata azafrán (<i>Larimichthys crocea</i>)	China	0,0026 MP/g	Piscívoro	Zuri et al. (2023)	

Atún de aleta amarilla (<i>Thunnus albacares</i>)		0,00059 MP/g	Piscívoro	Walkinshaw et al. (2020)
Bonito de vientre rayado (<i>Katsuwonus pelamis</i>)		0,000249 MP/g	Piscívoro	Walkinshaw et al. (2020)
Pescado enlatado	Mundial	0,03 MP por individuo		OMS (2020)
Pescado desecado	Bangladesh	0,7 MP por individuo		OMS (2020)

Como se puede observar en la Tabla 3, todos los animales que son objeto de este estudio (moluscos, crustáceos y peces) muestran presencia de microplásticos en diversos estudios realizados, confirmándose la bioacumulación de partículas plásticas en dichos organismos. La bioacumulación se define como la absorción neta de un contaminante del ambiente. Se produce cuando la absorción de un contaminante es mayor que la capacidad del organismo para excretarlo (Miller et al., 2020).

Además, cabe destacar que la concentración de partículas plásticas es mayor en los moluscos, seguido de los crustáceos y, por último, los peces. Esta diferencia de concentración está estrechamente relacionada con la estrategia de alimentación de cada especie. Walkinshaw et al. (2020) concluyen que los organismos que se encuentran en la base de la cadena trófica (moluscos bivalvos, crustáceos y peces planctívoros) son más susceptibles a estar contaminados con mayores concentraciones de microplásticos, debido a su estrategia de alimentación mediante filtración. Sin embargo, los peces pertenecientes a niveles tróficos superiores con una alimentación piscívora poseen una menor cantidad de microplásticos en sus tejidos. Esta disminución de la concentración de microplásticos a medida que aumenta el nivel trófico se ve representada en la Figura 12, realizada a partir de la media de los datos de la Tabla 3 según el grupo animal (moluscos, crustáceos, peces planctívoros y peces piscívoros).

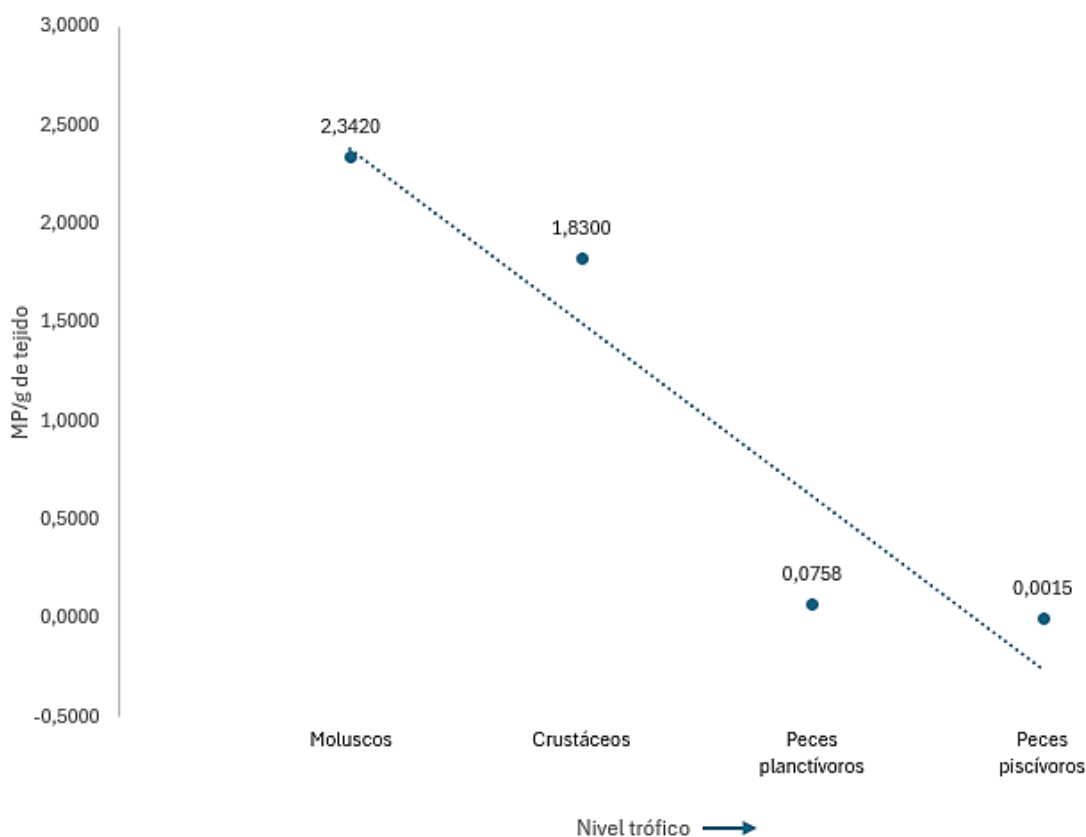


Figura 12. Relación entre la concentración de microplásticos y el nivel trófico.

Debido a la observación de una menor concentración de partículas plásticas en los niveles tróficos superiores, Walkinshaw et al. (2020) y Miller et al. (2020) concluyen que no se produce biomagnificación en el caso de los microplásticos, a diferencia de otros contaminantes como los compuestos organoclorados o el mercurio. Se entiende por biomagnificación como el incremento de la concentración de un contaminante en un organismo en comparación con la concentración de este en su presa (Miller et al., 2020). En conclusión, los microplásticos experimentan un fenómeno de bioacumulación en los organismos acuáticos, pero no necesariamente conducen a la biomagnificación en la cadena trófica.

5.2.2. Localización de los microplásticos en los organismos acuáticos

La localización en la que se acumulan los microplásticos varía según el individuo. Tras su ingestión, las partículas son transportadas a diferentes tejidos y órganos, siendo el tracto gastrointestinal y las branquias los órganos más comunes para la concentración del plástico.

- En los moluscos bivalvos, las partículas plásticas se encuentran en las branquias, estómago, intestino y gónadas. Concretamente, en un experimento realizado sobre *Mytilus edulis*, se evidencia la translocación de los microplásticos hacia el aparato circulatorio (Liu et al., 2024). Además, Jiang et al. (2020) concretan que las partículas plásticas con un tamaño mayor de 4 μm son capaces de permanecer en el cuerpo de *M. edulis*, mientras que las partículas con un tamaño menor de 10 μm pueden ser absorbidas hacia el aparato circulatorio.

- En el caso de los crustáceos, en particular en un estudio realizado en cangrejos, la localización observada fue en las branquias, estómago y hepatopáncreas (Liu et al., 2024). Gopal et al. (2022) describen que, tras la realización de diversos estudios en cangrejos, se evidencia la presencia de microplásticos en branquias e intestino. Sin embargo, no se observan partículas plásticas en el tejido muscular.

- En los peces, tras realizar numerosas investigaciones, se observan resultados contradictorios. Por un lado, Liu et al. (2024), Van Raamsdonk et al. (2020) y Paul et al. (2020) describen la presencia de microplásticos en las branquias, tracto gastrointestinal e hígado, confirmando su ausencia en el tejido muscular de los peces. Por otro lado, Gopal et al. (2022) detallan que, además de en el aparato gastrointestinal y las branquias, se observan microplásticos en los músculos dorsales de *Dicentrarchus labrax*, *Trachurus trachurus* y *Scomber colias* debido a una translocación desde el epitelio intestinal a la circulación sistémica y posterior llegada a otros tejidos. Makhdoumi et al. (2023) confirman la presencia de partículas plásticas en los músculos de los peces debido a una traslocación desde el epitelio intestinal al aparato circulatorio. Sin embargo, Nelis et al. (2023) y Santonicola et al. (2023) concluyen que la presencia de partículas plásticas en el tejido muscular es debida a una contaminación cruzada durante los procesos de manipulación en la industria alimentaria (empaquetamiento y procesado). Por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones para determinar si esta presencia es debida a una translocación desde el epitelio intestinal o a una contaminación cruzada en los procedimientos industriales.

5.2.3. Influencia del modo de consumo de los POA en la transferencia de microplásticos al ser humano

La transferencia de partículas plásticas al ser humano también está influenciada por el modo de consumo de las diferentes especies. Los moluscos, crustáceos y peces de pequeño tamaño (como las sardinas y los boquerones) suelen ser consumidos enteros, incluyendo el tracto gastrointestinal, por lo que esto supone una vía directa de exposición a los microplásticos. Sin embargo, Van Raamsdonk et al. (2020) y Paul et al. (2020) concluyen que debido a la preparación de los peces de mayor tamaño previamente a su consumo, retirando el tracto gastrointestinal, las branquias, la piel, las escamas y las aletas, disminuye la transmisión de plástico al ser humano.

Por consiguiente, debido a las diferencias observadas en cuanto a la concentración, la localización de los microplásticos y el modo de consumo de los diferentes individuos, se producen variaciones en la transmisión de plásticos a las personas. Van Raamsdonk et al. (2020) describen que el consumo por persona anual de microplásticos es de entre 25 y 32.375 partículas procedentes del consumo de pescado, entre 322 y 19.511 partículas procedentes del consumo de crustáceos y entre 500 y 32.750 partículas procedentes del consumo de moluscos (Figura 13).

Como se ha explicado anteriormente, los peces conforman la categoría en la que se produce una menor concentración de microplásticos (Figura 14). Sin embargo, se observa que la transmisión a los humanos es mayor en el caso de los moluscos, seguido del pescado y, por último, los crustáceos. Esta mayor transmisión por parte del pescado es resultado de su consumo anual, que supera al consumo de crustáceos (Breuer, 2023) (Figura 11).

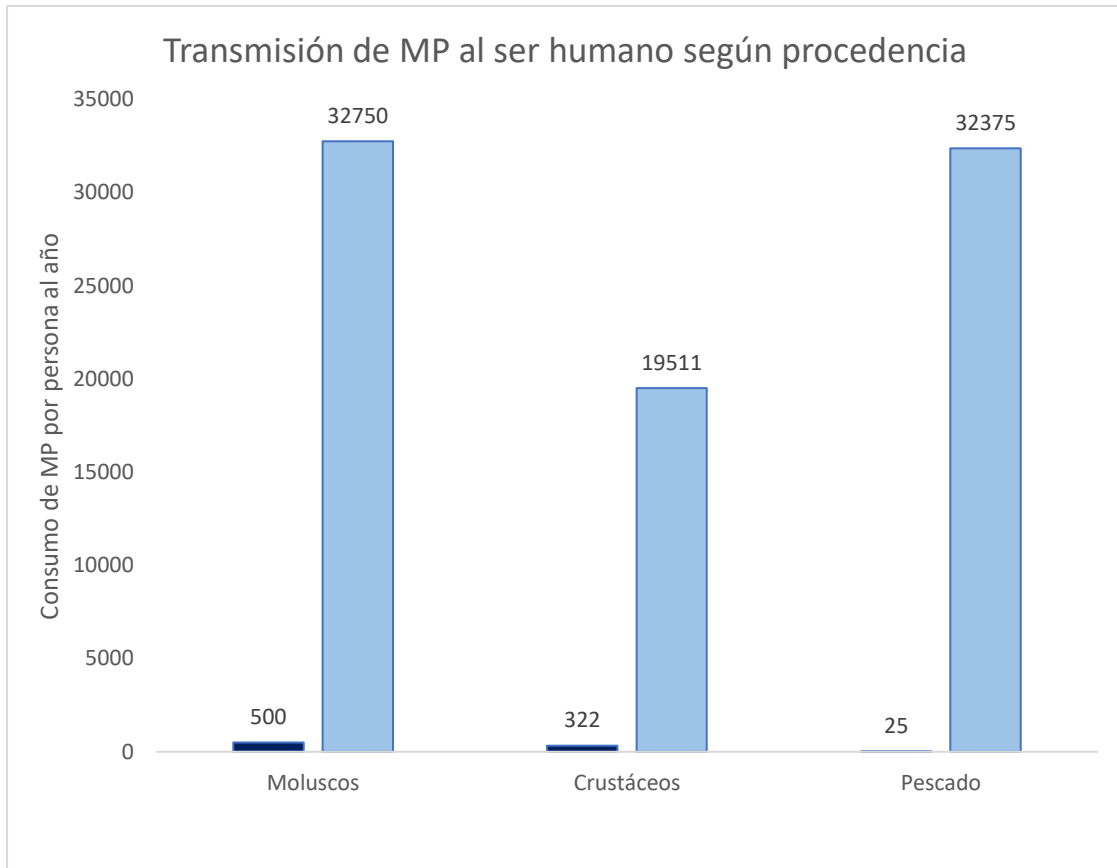


Figura 13. Transmisión de microplásticos al ser humano según procedan del consumo de moluscos, crustáceos o pescado.

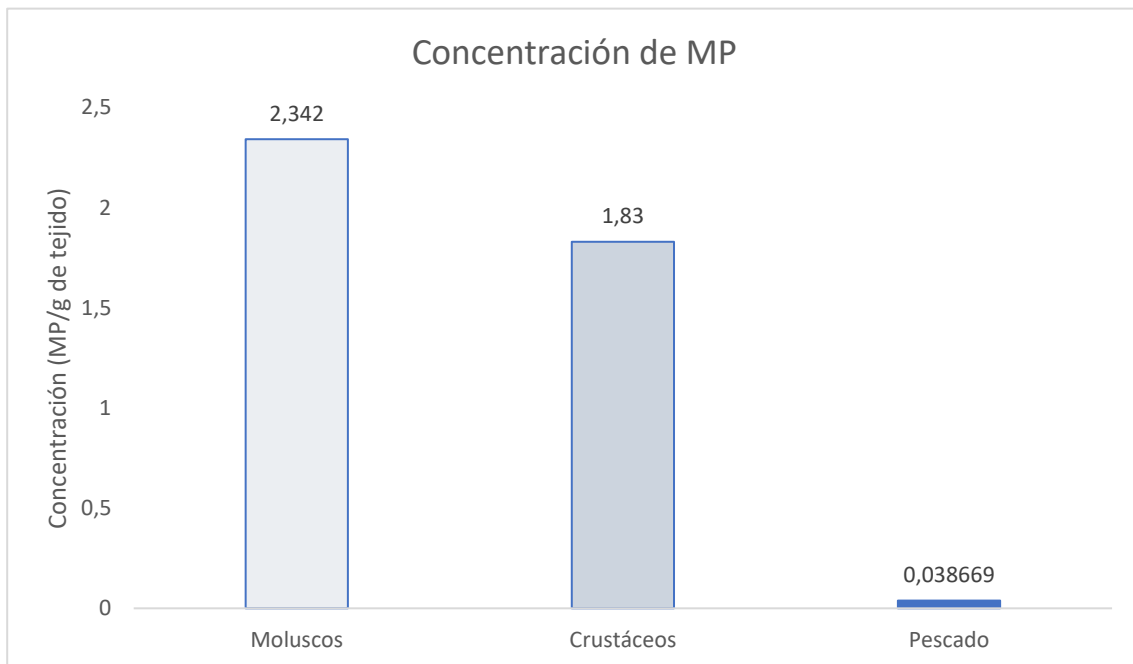


Figura 14. Concentración media de microplásticos por gramo de tejido analizado en moluscos, crustáceos y pescado.

5.3. Efectos nocivos de los microplásticos en la salud humana

En la actualidad, los efectos de los microplásticos en la salud humana se encuentran en investigación. Sin embargo, numerosos estudios ya indican que la exposición a estas partículas puede provocar efectos nocivos en los humanos. Existen evidencias de que la principal ruta de exposición de los seres humanos al plástico es el aparato gastrointestinal (Wu et al., 2024). A continuación, se describen las consecuencias perjudiciales en la salud humana debido a la ingestión de microplásticos.

5.3.1. Problemas gastrointestinales

Diversas investigaciones sugieren que la ingestión de microplásticos puede producir inflamación del tracto digestivo, estreñimiento, alteración de la microbiota intestinal y de la permeabilidad intestinal. Además, se ha evidenciado una correlación positiva entre la presencia de microplásticos en las heces humanas y la enfermedad inflamatoria intestinal (EII). Esta relación es debida a la detección de una mayor concentración de microplásticos en las heces de personas que padecen EII en comparación con personas sanas, lo que sugiere un posible vínculo entre el desarrollo de esta enfermedad y los microplásticos (Emenike et al., 2023). Los resultados de la investigación realizada mostraron que los pacientes con EII presentaban 41,8 partículas de microplástico por cada gramo de heces, mientras que los pacientes sanos tenían una concentración menor, con 28 partículas por gramo. Esta mayor concentración de microplásticos en las heces de pacientes enfermos puede deberse a un agravamiento de la EII relacionada con la exposición a microplásticos, o a que la retención de microplásticos sea mayor en aquellos pacientes que padecen EII (Barceló et al., 2023).

Por otro lado, se ha evidenciado que los microplásticos se acumulan en el sistema digestivo, donde pueden provocar irritación física y obstrucción. Concretamente, en un experimento descrito por López de las Hazas et al. (2022), en el que se utilizó un modelo intestinal in vitro, se evidenció la permanencia en el intestino de entre 0,8% y el 7,8% de las partículas de microplástico ingeridas, y su entrada en la circulación sistémica. Numerosos estudios indican que los micro y nanoplásticos pueden atravesar la barrera epitelial del sistema digestivo. Cuando se ingieren por vía oral, estas partículas son absorbidas por las células epiteliales intestinales mediante procesos como la macropinocitosis. Posteriormente, son transportadas por los lisosomas al otro extremo de la célula, y son liberadas mediante transcitosis (Wu et al., 2024). Una vez alcanzan el aparato circulatorio, pueden translocarse a los ganglios linfáticos

mesentéricos, a la circulación sanguínea y llegar a órganos como el hígado y el bazo (Ageel et al., 2022). Sin embargo, numerosos microplásticos no son capturados eficientemente debido a su gran tamaño, por lo que son rápidamente eliminados por el moco intestinal y excretados junto con las heces. Este hecho es evidenciado por la presencia de microplásticos en las heces humanas, concretamente 20 partículas de plástico por cada 10 g de heces (Zhu et al., 2023).

5.3.2. Alteración endocrina

La alteración endocrina se debe a la presencia de compuestos disruptores endocrinos (EDC) en los microplásticos, debido a la capacidad del plástico para absorber diferentes sustancias químicas del entorno, o a que estos EDC forman parte de su composición. Los EDC son sustancias que interfieren con el funcionamiento normal del sistema endocrino, lo que resulta en efectos perjudiciales para la salud de los organismos. Algunos ejemplos son el bisfenol A, el nonilfenol, los ésteres de ftalato y el octilfenol. Estos compuestos se utilizan comúnmente en la producción de plástico, y, por lo tanto, se encuentran en la composición de los microplásticos. Tras ser ingeridos, los microplásticos pueden liberar estos EDC, provocando efectos adversos sobre el equilibrio hormonal, la función reproductiva, el desarrollo y la salud general (Emenike et al., 2023).

5.3.3. Transporte de microorganismos patógenos

Sobre la superficie de los microplásticos habitan bacterias y una amplia gama de organismos, como hongos y protozoos, lo que conlleva a la formación de biofilms. De esta manera, los microplásticos pueden actuar como portadores de bacterias patógenas, pudiendo contaminar las fuentes de agua y la cadena alimentaria y provocando la propagación de enfermedades. Una vez ingeridos, los microplásticos y las bacterias patógenas asociadas pueden acumularse en el tracto gastrointestinal, causando infecciones, respuestas inflamatorias y e incluso disbiosis (Emenike et al., 2023; Kadac-Czapska et al., 2022).

Se han realizado diferentes estudios que han evidenciado la presencia de bacterias en los microplásticos. Por ejemplo, en una planta de tratamiento de aguas residuales en Hong Kong se observó la formación de biofilms en la superficie de microperlas de polietileno incubadas en aguas residuales sin tratar. Se encontraron bacterias patógenas para humanos y para otros animales, como los peces. Esto indica que los microplásticos pueden transportar patógenos a

través de las aguas residuales. Concretamente, en una investigación se identificó la presencia de *Vibrio parahaemolyticus* sobre diferentes tipos de microplásticos recolectados en el Mar del Norte y el Mar Báltico, y en otro estudio similar se reportó la existencia de *Escherichia coli* y de *Vibrio spp.* en esferas de resina plástica obtenidas en playas públicas para la población (Emenike et al., 2023). Además, cabe destacar la preocupación por la capacidad de los microplásticos para transportar bacterias resistentes a los antibióticos. Ciertas cepas bacterianas que habitan en los biofilms aumentan la resistencia microbiana hasta 30 veces (Kadac-Czapska et al., 2022).

Por otro lado, en la superficie de los microplásticos también pueden acumularse varias especies de hongos patógenos y protozoos. Kadac-Czapska et al. (2022) describe la presencia de protozoos, como *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* en la superficie de esferas de polietileno y de fibras de poliéster.

5.3.4. Transporte de contaminantes químicos

Los microplásticos transportan contaminantes químicos como los metales pesados. Los iones metálicos se adsorben en su superficie a través de interacciones electrostáticas o formando complejos con los ligandos presentes en el plástico. Posteriormente, los metales adsorbidos son capaces de liberarse y difundirse, encontrando una liberación significativa de manganeso, zinc, arsénico, cromo, cobre, plomo y níquel de la superficie del microplástico en soluciones gastrointestinales (Kadac-Czapska et al., 2022).

Además, existe una creciente preocupación por la persistencia de plaguicidas adheridos a los microplásticos. Debido a las características fisicoquímicas del plástico, son portadores de sustancias hidrofóbicas como los carbamatos, organofosforados, y organoclorados. Se evidenció la capacidad de los microplásticos para aumentar la nocividad de los pesticidas debido a la adsorción y desorción, además de incrementar su vida media en el agua (Emenike et al., 2023; Kadac-Czapska et al., 2022).

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente Trabajo de Final de Grado son las siguientes:

1. Todas las especies marinas de importancia comercial analizadas en las diferentes investigaciones contienen microplásticos. Por lo tanto, cuando estas especies son incluidas en la dieta humana, sí existe un riesgo para el consumidor en cuanto a la transmisión de microplásticos a través de los productos de origen animal procedentes del mar.
2. Las especies en los niveles tróficos inferiores, como los moluscos bivalvos, crustáceos y peces piscívoros, acumulan una cantidad mayor de microplástico por gramo de tejido, a diferencia de las especies pertenecientes a niveles tróficos superiores, que acumulan una menor cantidad. Por consiguiente, aunque se produce la bioacumulación de microplásticos, no ocurre un fenómeno de biomagnificación de estas partículas.
3. El riesgo de transmisión de microplásticos al ser humano es mayor al consumir moluscos bivalvos, seguido del consumo de pescado y, por último, el consumo de crustáceos.
4. Numerosas investigaciones indican que los microplásticos producen efectos nocivos en la salud de las personas. Estos efectos están relacionados con alteraciones gastrointestinales, endocrinas, transporte de microorganismos patógenos (bacterias, hongos y parásitos) y de contaminantes químicos (metales pesados y plaguicidas).
5. Es necesario realizar nuevas investigaciones que permitan determinar con mayor exactitud los efectos de los microplásticos sobre la salud de los animales acuáticos y de los seres humanos.
6. Debido al incremento de la presencia de microplásticos en diferentes alimentos destinados al consumo humano y animal, se requiere el desarrollo de una normativa específica a nivel comunitario y nacional para controlar la presencia de estas partículas y reducir su transmisión al consumidor.

REFERENCIAS

- Almack, A. (6 de abril de 2021). *The 7 different types of plastic*. Plastics For Change. <https://www.plasticsforchange.org/blog/different-types-of-plastic>
- Ageel, H. K., Harrad, S., y Abdallah, M. A.-E. (2022). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 24(1), 17–31. <https://doi.org/10.1039/d1em00301a>
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2021). *Microplásticos y nanoplásticos*. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/microplasticos_nanoplasticos.pdf
- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (s/f). *Riesgos emergentes*. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/emerging-risks>
- Barceló, D., Picó, Y., y Alfarhan, A. H. (2023). Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 101, 104204. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204>
- Benson, N. U., Agboola, O. D., Fred-Ahmadu, O. H., De-la-Torre, G. E., Oluwalana, A., y Williams, A. B. (2022). Micro(nano)plastics prevalence, food web interactions, and toxicity assessment in aquatic organisms: A review. *Frontiers in marine Science*, 9, 851281. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.851281>
- Bhuyan, M. S. (2022). Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in environmental science*, 10, 827289. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>
- Breuer, M. E. G. (2023). *LA PESCA EUROPEA EN CIFRAS*. Parlamento Europeo. https://www.europarl.europa.eu/erpl-app-public/factsheets/pdf/es/FTU_3.3.9.pdf

Borriello, L., Scivicco, M., Cacciola, N. A., Esposito, F., Severino, L., y Cirillo, T. (2023).

Microplastics, a global issue: Human exposure through environmental and dietary sources. *Foods*, 12(18), 3396. <https://doi.org/10.3390/foods12183396>

De-la-Torre, G.E. (2020). Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 1601–1608.

<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>

Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA journal*, 14(6).

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>

Emenike, E. C., Okorie, C. J., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., Okoro, H.

K., y Adeniyi, A. G. (2023). From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*, 9(10), e20440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20440>

Fehrenbach, G. W., Pogue, R., Carter, F., Clifford, E., y Rowan, N. (2022). Implications for the seafood industry, consumers and the environment arising from contamination of shellfish with pharmaceuticals, plastics and potentially toxic elements: A case study from Irish waters with a global orientation. *The Science of the Total Environment*, 844, 157067.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157067>

Fonseca, M.A., Garrido, E., Toppe, J., Bahri, T., y Barg, U. (2017). The Impact of Microplastics on Food Safety: the Case of Fishery and Aquaculture Products. *FAO Aquaculture Newsletter*, 57, 43–45.

<https://www.fao.org/3/i7851e/i7851e.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura: ¿qué sabemos? ¿deberíamos preocuparnos?* <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b7298026-bc1b-4711-b92d-c34438810f55/content>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of World Fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Galgani, F., Hanke, G., y Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. En M. Bergmann et al (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*, 29–56. Springer International Publishing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>

Gopal, J., Sivanesan, I., Muthu, M., y Oh, J.-W. (2022). Overviewing the ground reality of microplastic effects on seafoods, including fish, shrimps and crabs: Future research directions. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(24), 3976. <https://doi.org/10.3390/foods11243976>

Mondragon Unibertsitatea. (2017). *Índices de impacto de las publicaciones*. <https://www.mondragon.edu/es/web/biblioteca/indices-de-impacto-de-las-publicaciones>

Jaime, M., y Hernández-Almaraz, Pablo. (2018). *Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas*. (1ª ed). Samsara Editorial. https://www.researchgate.net/publication/330370154_Bioacumulacion_y_transferenc

[ia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas](#)

Jiang, B., Kauffman, A. E., Li, L., McFee, W., Cai, B., Weinstein, J., Lead, J. R., Chatterjee, S., Scott, G. I., y Xiao, S. (2020). Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 25(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00870-9>

Kadac-Czapska, K., Knez, E., y Grembecka, M. (2024). Food and human safety: the impact of microplastics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(11), 3502–3521. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2132212>

Li, Q., Ma, C., Zhang, Q., y Shi, H. (2021). Microplastics in shellfish and implications for food safety. *Current Opinion in Food Science*, 40, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.017>

Liu, W., Liao, H., Wei, M., Junaid, M., Chen, G., y Wang, J. (2024). Biological uptake, distribution and toxicity of micro(nano)plastics in the aquatic biota: A special emphasis on size-dependent impacts. *Trends in Analytical Chemistry: TRAC*, 170, 117477. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117477>

López de las Hazas, M.-C., Boughanem, H., y Dávalos, A. (2022). Untoward effects of micro- and nanoplastics: An expert review of their biological impact and epigenetic effects. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, 13(4), 1310–1323. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab154>

Lusher, A. (2015). Microplastics in the marine environment: Distribution, interactions and effects. En M. Bergmann et al. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*, 245–307. Springer International Publishing. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>

Makhdoumi, P., Hossini, H., y Pirsahab, M. (2023). A review of microplastic pollution in commercial fish for human consumption. *Reviews on Environmental Health*, 38(1), 97–109. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0103>

Mercogliano, R., Avio, C. G., Regoli, F., Anastasio, A., Colavita, G., y Santonicola, S. (2020). Occurrence of microplastics in commercial seafood under the perspective of the human food chain. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(19), 5296–5301. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01209>

Miller, M. E., Hamann, M., y Kroon, F. J. (2020). Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *PLoS One*, 15(10), 0240792. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240792>

Nelis, J. L. D., Schacht, V. J., Dawson, A. L., Bose, U., Tsagkaris, A. S., Dvorakova, D., Beale, D. J., Can, A., Elliott, C. T., Thomas, K. V., y Broadbent, J. A. (2023). The measurement of food safety and security risks associated with micro- and nanoplastic pollution. *Trends in Analytical Chemistry: TRAC*, 161, 116993. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116993>

Organización Mundial de la Salud. (2022). *Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health*

Paul, M. B., Stock, V., Cara-Carmona, J., Lisicki, E., Shopova, S., Fessard, V., Braeuning, A., Sieg, H., y Böhmert, L. (2020). Micro- and nanoplastics - current state of knowledge with the focus on oral uptake and toxicity. *Nanoscale Advances*, 2(10), 4350–4367. <https://doi.org/10.1039/d0na00539h>

Programa CE-FAO “La Seguridad Alimentaria: Información para la toma de decisiones”. (2011). *Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/al936s>

Reglamento (CE) Nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE. <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/1935/2021-03-27>

Reglamento (UE) Nº 10/2011 de la Comisión de 14 de enero de 2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/10/2023-08-31>

Rojo-Nieto E. y Montoto T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en acción*. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/56275/2/informe-basuras-marinas.pdf>

Rubio, C., Daschner, A., González, E., González, M.J., Moreno-Arribas, M.V., Talens, P., y Bustos, J. Grupo de Trabajo (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. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 30, 49–84. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/revistas_comite_cientifico/comite_cientifico_30.pdf

Santonicola, S., Volgare, M., Cocca, M., Dorigato, G., Giaccone, V., y Colavita, G. (2023). Impact of fibrous microplastic pollution on commercial seafood and consumer health: A review. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 13(11), 1736. <https://doi.org/10.3390/ani13111736>

Subaramaniam, U., Allimuthu, R. S., Vappu, S., Ramalingam, D., Balan, R., Paital, B., Panda, N., Rath, P. K., Ramalingam, N., y Sahoo, D. K. (2023). Effects of microplastics, pesticides and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense

mechanism. *Frontiers in Physiology*, 14, 1217666.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2023.1217666>

Van Raamsdonk, L. W. D., van der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L. A. P., Peters, R. J. B., Groot, M. J., Peijnenburg, A. A. C. M., y Weesepeel, Y. J. A. (2020). Current insights into monitoring, bioaccumulation, and potential health effects of microplastics present in the food chain. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(1), 72.

<https://doi.org/10.3390/foods9010072>

Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H.-G., y Nielen, M. W. F. (2023). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. occurrence. *Trends in Analytical Chemistry: TRAC*, 159, 116670.

<https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116670>

Walkinshaw, C., Lindeque, P. K., Thompson, R., Tolhurst, T., y Cole, M. (2020). Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110066.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110066>

Wu, J., Chen, H., Xu, J., Rahman, M. S. U., Li, S., Wang, J., Huang, S., Han, C. C., Xu, S., y Liu, Y. (2024). The lull before microplastics pollution outbreaks: Some implications for human health and control strategies. *Nano Today*, 54, 102062.

<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2023.102062>

Yuan, Z., Nag, R., y Cummins, E. (2022). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment - From marine to food systems. *The Science of the Total Environment*, 823, 153730.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>

Zhang, S., Wu, H., y Hou, J. (2023). Progress on the effects of microplastics on aquatic crustaceans: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5523.

<https://doi.org/10.3390/ijms24065523>

Zhu, H., Fu, S., Zou, H., Su, Y., y Zhang, Y. (2021). Effects of nanoplastics on microalgae and their trophic transfer along the food chain: recent advances and perspectives. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 23(12), 1873–1883.

<https://doi.org/10.1039/d1em00438g>

Zhu, L., Xie, C., Chen, L., Dai, X., Zhou, Y., Pan, H., y Tian, K. (2023). Transport of microplastics in the body and interaction with biological barriers, and controlling of microplastics pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 255, 114818.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114818>

Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., y Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A real global threat for environment and food safety: A state of the art review. *Nutrients*, 15(3), 617.

<https://doi.org/10.3390/nu15030617>

Zuri, G., Karanasiou, A., y Lacorte, S. (2023). Microplastics: Human exposure assessment through air, water, and food. *Environment International*, 179, 108150.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108150>