



Facultad de Veterinaria  
**Universidad Zaragoza**



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Microplásticos y su efecto en los peces.

Microplastics and their effects on fish.

Autor/es

Lydia María Minguell Soto

Director/es

Miguel A. Peribáñez López

Imanol Ruiz Zarzuela

Facultad de Veterinaria

2023

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>3. CONTEXTO</b>	<b>4</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>6</b>
<b>6. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>7. LOS MICROPLÁSTICOS</b>	<b>10</b>
7.1. Definición.	10
7.2. Clasificación:	10
7.2.1. Origen:	10
7.2.2. Tamaño	11
7.2.3. Forma	12
7.2.4. Color	12
7.2.5. Composición del polímero	12
7.3. Distribución.	12
<b>8. TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS PECES</b>	<b>15</b>
<b>9. EFECTOS SOBRE LOS ORGANISMOS MARINOS</b>	<b>16</b>
9.1. Ingestión de microplásticos	18
9.1.1. Efectos a nivel digestivo	20
9.1.2. Efecto energético	21
9.2. Efecto de la translocación en el organismo	25
9.2.1. Transporte de compuestos tóxicos	25
9.3. Bioacumulación (Transferencia a lo largo de la cadena trófica)	25
9.4. MPs como vectores de contaminantes:	27
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	<b>31</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
<b>12. CONCLUSIONS</b>	<b>33</b>
<b>13. VALORACIÓN PERSONAL</b>	<b>33</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>34</b>

## **1. RESUMEN**

Los microplásticos son considerados como uno de los principales contaminantes emergentes y su presencia se está incrementando de forma exponencial en los diferentes ecosistemas. Además de por los efectos que generan en el propio medio, también afectan a los diferentes seres vivos que, de manera directa o indirecta, entran en contacto con estos.

Como consecuencia de su presencia en el medio y sus características, como la elevada resistencia o la hidrofobicidad, diferentes contaminantes presentes en el agua se adhieren a los microplásticos, generando efectos combinados.

Tras diferentes estudios realizados, se ha observado que el efecto que estos contaminantes pueden tener en el organismo incluye efectos a nivel reproductivo, tiroideo, etc. Sin embargo, debido a la que se trata de un tema de reciente estudio, los efectos en los peces todavía no son bien conocidos y, mucho menos, el efecto que tiene en el ser humano la ingesta de peces con microplásticos.

## **2. ABSTRACT**

Microplastics are considered one of the main emerging pollutants, and their presence is exponentially increasing in different ecosystems. In addition to the effects they generate in the environment itself, they also affect various living organisms that come into direct or indirect contact with them.

As a result of their presence in the environment and their characteristics, such as high resistance or hydrophobicity, different pollutants present in the water adhere to microplastics, generating combined effects.

Through various studies, it has been observed that the effects these pollutants can have on organisms include reproductive, thyroidal effects, among others. However, due to the fact that this is a topic of recent study, the effects on fish are still not well understood, and even less is known about the effect of ingesting fish with microplastics on humans.

### 3. CONTEXTO

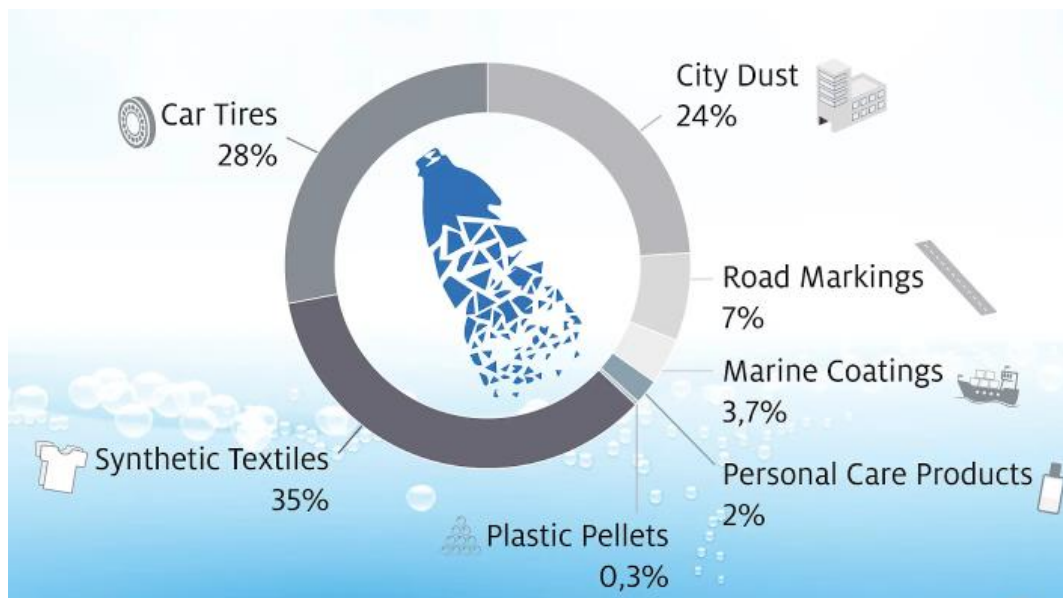
La presencia globalizada de microplásticos (MPs) ha generado una creciente preocupación acerca de los efectos sobre la biota y la posible contaminación alimentaria humana. De esta manera, la cantidad de estudios, tanto sobre las fuentes de exposición como sobre los efectos toxicológicos de estos contaminantes sobre el organismo, se han ido incrementando. Actualmente, sabemos que una enorme variedad de organismos acuáticos, pertenecientes a todos los niveles de la cadena trófica, son susceptibles de presentar microplásticos en su interior (FAO, 2018).

Con respecto al origen de estos contaminantes, sabemos que el inicio de su producción se sitúa en los años 50 y que, desde entonces, se han producido más de 8.000 millones de toneladas, de las cuales, cerca de 6.000 millones, se encuentran en forma de residuos. De estos, un 10% se han reciclado y, un porcentaje similar, se ha incinerado. Sin embargo, cerca del 80% se encuentra repartido en diferentes vertederos tanto en el medio terrestre como en el acuático (CSIC, 2021). Pero, del plástico responsable de la contaminación marina, sólo el 20% tiene origen marino, mientras que el origen del 80% restante es terrestre (Figura 1 (Henkel, 2018)).

La prevalencia creciente de la presencia de microplásticos, resultado de la actividad antropogénica en el medio acuático, ha generado una preocupación a nivel mundial acerca de los efectos, principalmente adversos, que estos compuestos podrían tener sobre los organismos marinos que los ingieren y, de manera indirecta, las consecuencias de la ingesta de pescado en la población humana (Xu *et al.*, 2020). Por tanto, el perjuicio generado abarca desde invertebrados bentónicos hasta grandes mamíferos marinos (Rodolfo, 2015).

El principal problema del plástico como contaminante marino es su elevada resistencia, es decir, que los microorganismos presentes en el agua son incapaces de romper los enlaces químicos que los constituyen y, en consecuencia, no se produce la degradación de los fragmentos plásticos que, finalmente, acabarán en el estómago de los organismos marinos (María, 2021). Si bien es cierto que, los efectos que estos contaminantes tienen sobre el medio son ampliamente conocidos, la repercusión de la ingesta de los microplásticos por los peces todavía se encuentra bajo investigación.

Además, las repercusiones que estos contaminantes generan van más allá de los organismos de vida libre, afectando también a los peces cultivados. Esto se debe a que, tanto el desarrollo de la pesca como el de la acuicultura está, desde sus inicios, ligado al uso de plásticos; pues, estos compuestos, son empleados para la construcción de embarcaciones, materiales de pesca (ej.: red de arrastre), cajones para peces, aislamiento de las embarcaciones, etc. (FAO, 2018).



**Figura 1.-** Principales orígenes de los microplásticos marinos (Henkel, 2018)

#### 4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En la siguiente revisión se exponen los distintos efectos, ambientales y sanitarios, que los microplásticos tienen sobre los organismos marinos, más concretamente en los peces; teniendo en cuenta que, dichos efectos, pueden extrapolarse a los seres humanos y a otras especies animales. Además, también se expondrán las diferentes vías de llegada a los organismos acuáticos y se propondrán una serie de medidas para intentar reducir las repercusiones de estos contaminantes.

Debemos tener en cuenta que, el conocimiento que la población tiene acerca de la vida acuática es escaso y, aún más escaso, es el conocimiento de los efectos que tienen los compuestos plásticos más allá de los evidentes como la asfixia y el enmallamiento. Por tanto, podemos llegar a la conclusión de que, el efecto consecuencia de los productos resultantes de su degradación, es decir, los efectos que generan los microplásticos, todavía es más desconocido. Sin embargo, es de vital importancia la concienciación por parte de la población acerca de las repercusiones que estos residuos pueden tener, sobre la salud y el medio ambiente, para que las medidas a adoptar sean eficaces.

Otro aspecto importante que considerar es que, consecuencia de las relaciones de depredación entre diferentes especies de animales y entre animales y humanos, los plásticos pueden

experimentar un proceso de bioacumulación y tener efectos sobre las especies de la parte superior de la cadena trófica. Aunque, si bien es cierto que la mayor parte de los plásticos se acumulan en el digestivo de los peces, parte del animal que no ingerimos, los aditivos que llevan asociados son liberados en el organismo y tienden a acumularse en el músculo, parte que sí es ingerida (CSIC, 2021).

Por tanto, este trabajo tiene los siguientes objetivos específicos: (1) conocer las diferentes formas por las que podemos clasificar los microplásticos; (2) determinar las vías de incorporación de los microplásticos en el organismo; (3) valorar los efectos fruto de la ingesta; (4) conocer efectos fruto de la vehiculización de otros contaminantes; (5) determinar los posibles efectos sobre la salud humana fruto de la bioacumulación.

## 5. METODOLOGÍA

En este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica de las principales fuentes y bases de datos relacionadas con los microplásticos (Base de datos del CSIC, trabajos de final de grado, trabajos de final de máster y *ScienceDirect*). De la información disponible, se han tenido en cuenta artículos científicos y divulgativos, así como documentos relevantes y actuales (publicados y/o actualizados en los últimos 8 años) relacionados con el tema de estudio.

Durante el proceso de búsqueda de información se ha incidido, principalmente, en aquellos artículos que hacen referencia al efecto de los microplásticos en los organismos marinos, más concretamente en peces.

La búsqueda ha englobado artículos en inglés y, en menor medida, en español; señalar que el motivo por el que la mayor parte de la información empleada en la realización del trabajo proceda de fuentes inglesas, se debe a que se trata de la lengua principal para vehicular información científica y, en consecuencia, lengua en la que se encuentran la mayor parte de estudios de interés a la hora de realizar esta revisión.

Con respecto a las palabras clave empleadas destacamos: *microplastics*, microplásticos, microplásticos en organismos marinos, *fish*, efectos en el organismo, contaminación marina, *marine contamination*, *toxicity of microplastics*, impacto ingesta de residuos plásticos y *impact of microplastics in fish*.

## 6. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros, es decir, compuestos químicos formados por múltiples unidades más sencillas conocidas como monómeros. Su origen etimológico deriva del griego *plástikós* y significa moldeable, debido a la facilidad para adaptarlo a la forma que deseemos cuando los sometemos a elevadas temperaturas (RSyS, 2021).

Con respecto a su origen, el plástico surgió como una revolución industrial que pretendía sustituir otros materiales ya existentes, abaratando así el precio de los productos. Por tanto, el plástico no se creó por una “necesidad” como tal, sino como una idea surgida con el fin de hacer el proceso de fabricación económicamente más accesible y, posiblemente, esta sea la razón de su rápida extensión en los últimos siglos, pudiendo encontrarlo actualmente en, prácticamente, cualquier lugar del planeta (RSyS, 2021). Además, la amplia distribución de este elemento a nivel mundial ha hecho posible que podamos encontrarlo también en los mares donde los organismos que habitan en él, objeto de estudio de esta revisión, se ven afectados.

Si bien es cierto que los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales permiten la eliminación de un elevado porcentaje de plásticos, una parte importante de estos se mantiene en las mismas. En este sentido, estudios realizados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Glasgow, demostraron que incluso con una eficiencia de eliminación del 98%, se continuaban vertiendo, diariamente, 65 millones de microplásticos al agua (Wang, Ge y Yu, 2020). De hecho, la abundancia de microplásticos en mares y océanos es tan importante que se cree que para 2050 podría haber más residuos plásticos que peces en los océanos (Lapresa, 2018).

Actualmente, se sabe que los problemas causados por estos residuos plásticos en el medio acuático son múltiples y van desde la afección de la vida marina (enredo e ingesta, exposición a sustancias químicas, etc.), la salud humana (consecuencia del proceso de bioacumulación) o la economía (impacto sobre el turismo y el sector pesquero), entre otros. Además, los efectos del plástico van más allá de su impacto directo puesto que, una vez se encuentran en el medio, se ven sometidos a una gran cantidad de agresiones, ejercidas por el sol, el agua y los distintos microorganismos que generan su fragmentación en partículas más pequeñas como los nanoplásticos o los microplásticos (MPs), los cuales, como veremos posteriormente, también presentan numerosos efectos nocivos sobre los organismos (Figura 2).



**Figura 2.-** Vías de biodegradación de los plásticos (Díaz, 2021)

Diversos estudios laboratoriales han demostrado que los nanoplásticos (tamaño entre 0,001 y 0,1  $\mu\text{m}$ ) y los microplásticos (tamaño inferior a 5 mm) generan diversos tipos de efectos negativos sobre los peces que los consumen. Entre estos efectos destacamos los cambios comportamentales, alteraciones físicas o citotoxicidad.

Además, el plástico no sólo genera problemas en los peces de vida libre, sino que también afecta a la acuicultura. Aunque si bien es cierto que la importancia de la acuicultura se ha estado incrementando en los últimos años, desde sus inicios ha tenido que enfrentarse a diversos desafíos entre los que destacamos la contaminación por microplásticos, pues estos contaminantes se encuentran tanto en las instalaciones como en la alimentación de los peces.

Entre las diferentes fuentes que contribuyen a la presencia de microplásticos en la acuicultura encontramos (Figura 3):

1. Aguas residuales: el impacto de esta sobre la acuicultura es muy variable y depende, en gran medida, del tipo de sistema de producción en el que nos encontremos.

Dentro de los diferentes sistemas de acuicultura, la acuicultura marina, es la más susceptible a la presencia de microplásticos en sus aguas, debido tanto a las actividades acuícolas como a la capacidad de los microplásticos para acumularse en las aguas; llegando a suponer una amenaza para las especies cultivadas.

Por su parte, el agua empleada en acuicultura occidental tiene diversos orígenes como aguas subterráneas, aguas de lluvia, aguas residuales pero tratadas o de origen



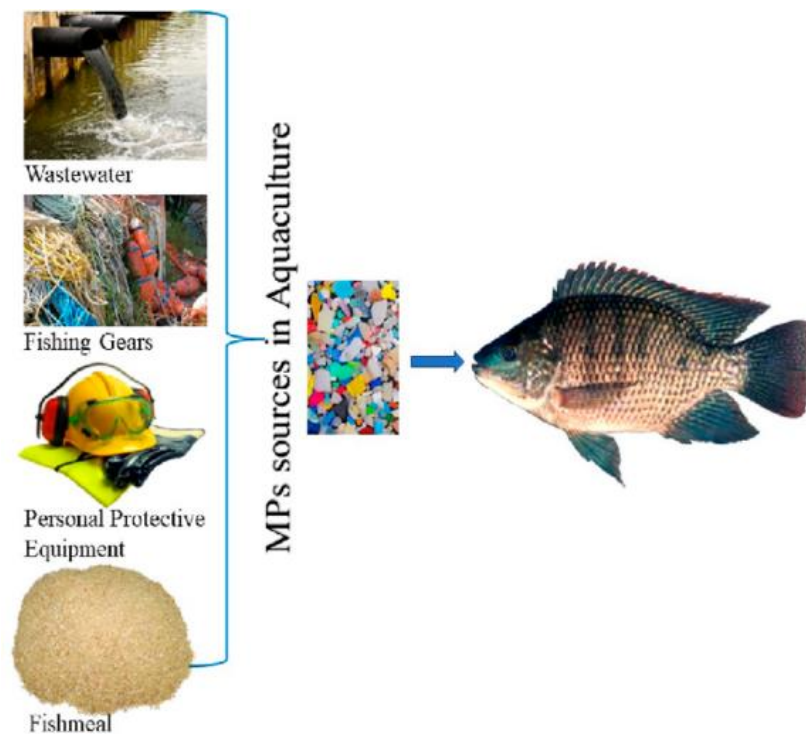
industrial, es decir, múltiples fuentes donde es habitual la presencia de microplásticos (Milthon, 2022).

2. Instalaciones: la mayoría de las instalaciones están construidas con materiales poliméricos debido a su flexibilidad y durabilidad.
3. Alimentación: especialmente en sistemas intensivos y semi-intensivos. En estos tipos de sistemas los animales se alimentan de piensos cuyo ingrediente principal es la harina de pescado, es decir, harina elaborada a partir de subproductos o pescados capturados accidentalmente (Iheanacho, *et al.*, 2022).

Cabe señalar que la tasa de MPs en las harinas de pescado es superior a la contaminación de la materia prima con la que se elaboran y esto se produce como consecuencia de la contaminación con MPs durante el proceso de fabricación.

4. Material de protección personal (EPIs): la mayoría de EPIs, como mascarillas o guantes, están elaborados con polímeros de plástico.

Además, tras la pandemia, el incremento en la producción de estos productos ha generado su eliminación indiscriminada al ambiente, dónde permanecen mucho tiempo y se degradan dando lugar a microplásticos (Iheanacho, *et al.*, 2022).



**Figura 3.-** Fuentes de microplásticos en acuicultura (Iheanacho *et al.*, 2022)

## 7. LOS MICROPLÁSTICOS

### 7.1. Definición.

Los plásticos una vez en el agua sufren diversas acciones ambientales como la radiación solar, el rozamiento, agitación consecuencia del oleaje, etc., que generan su degradación en pequeños fragmentos denominados microplásticos (Godoy, 2021).

Por tanto, los microplásticos son partículas sólidas de naturaleza sintética que presentan un tamaño inferior a 5 mm. A nivel general, podemos clasificarlos en 2 grupos: primarios y secundarios.

Generalmente, tanto plásticos como microplásticos, presentan una escasa solubilidad lo que hace que no se eliminen por disolución en los ambientes acuáticos, generando diversos problemas medioambientales y efectos nocivos.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado las características generales de los microplásticos son:

- Materiales sintéticos con un elevado contenido en polímeros
- Partículas sólidas
- Tamaño microscópico, inferior a 5 mm de diámetro
- Insolubles en agua y no degradables

Con respecto a la forma de clasificarlos, según el artículo **Microplásticos: pequeños fragmentos, gran problemática** (Anónimo, 2020), los microplásticos se pueden clasificar, además de por su naturaleza, por su composición, estado, tamaño de la partícula o solubilidad y persistencia.

### 7.2. Clasificación:

#### 7.2.1. Origen:

- **Primarios:** cuando su llegada al medio es en su forma original, es decir, no sufren modificaciones. La forma de presentación más común de este tipo de MP es en forma de microesferas (Abbas, 2021).

Algunos ejemplos de microplásticos de origen primario corresponden a productos de cuidado personal (limpiadores faciales), presentes en productos abrasivos (arena) o pellets de plástico, entre otros.

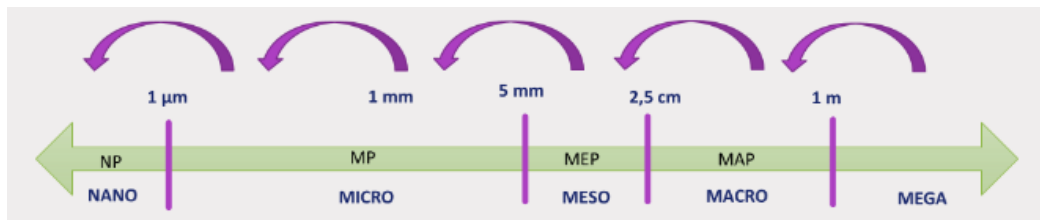
- **Secundarios:** son fruto de la degradación de productos plásticos de gran tamaño o de la liberación de fibras durante el lavado (Abbas, 2021). En esta categoría destacamos los procedentes de la degradación de fibras textiles, desgaste de neumáticos o consecuencia de una mala gestión de los residuos plásticos presentes en los vertederos.

### 7.2.2. Tamaño: (Figura 4)

Es la característica que más controversia genera.

Según la clasificación realizada por el *European Marine Strategy Framework Directive* (CE, 2014) los plásticos que forman la basura marina se pueden dividir en macroplásticos (mayores de 25 mm), mesoplásticos (entre 5 y 25 mm), microplásticos grandes (entre 1 y 5 mm) y pequeños (entre 1 mm y 20  $\mu$ m). Sin embargo, estudios realizados posteriormente afirman que la cantidad de rangos de tamaño a atribuir a los microplásticos depende del análisis realizado.

Debido a que no existe un consenso a la hora de establecer el tamaño de los microplásticos, en la posterior revisión, se van a considerar como tal, todas las partículas plásticas que presenten un diámetro inferior a 5 mm, es decir, aquellas que requieren de visualización microscópica.



**Figura 4.-** Escala de tamaños de los plásticos (Castañeta et al., 2020)

Es importante conocer el tamaño de los microplásticos para poder predecir los efectos que van a generar en el organismo pues, mientras los fragmentos diminutos de plástico generan alteración en el crecimiento y comportamiento de las larvas de peces pelágicos, los microplásticos de mayor tamaño son responsables de alteraciones mecánicas del estilo del bloqueo intestinal (Mendoza y Mendoza, 2020).

Además, el tamaño de las partículas de MPs presentes en el estómago de los peces está directamente relacionado con el tamaño y la dieta de estos. De esta manera, las especies pelágicas que se alimentan, en gran medida, de plancton, serían más propensas a ingerir pequeñas partículas de plástico presentes en la columna de agua que especies demersales de igual tamaño que se alimentan de presas de mayores dimensiones (Mendoza et al., 2020)

### **7.2.3. Forma**

Aunque existen 5 categorías diferentes, las formas de presentación más frecuentes son los pellets (comúnmente conocidos como “lágrimas de sirena”), fragmentos y fibras (Cabrera, 2018).

### **7.2.4. Color**

Es la menos importante debido a que se trata de una característica subjetiva, es decir, que para que nos aporte información relevante debemos de complementar con otras clasificaciones como la forma o el tamaño.

Sin embargo, la identificación por el color podría resultar interesante para poder diferenciar el impacto de estos materiales en los organismos acuáticos pues, en muchas ocasiones, los peces presentan preferencias según el color (Wright, Thompson y Galloway, 2019).

### **7.2.5. Composición del polímero**

En diversos estudios realizados se ha observado que la composición más frecuente de los polímeros que forman los MPs es el polietileno seguido del polipropileno y poliestireno, respectivamente. (Cabrera, 2018).

## **7.3. Distribución.**

La localización de los MPs es muy variada, pudiendo encontrarlos tanto en fauna marina (peces, moluscos, tortugas, etc.), agua del grifo y embotellada, polvo ambiental, etc.

Casi cualquier organismo es capaz de incorporar este tipo de partículas, siempre dependiendo de su tamaño y forma de alimentación. Además, existe transferencia de microplásticos entre organismos gracias a las redes tróficas marinas, es decir, consecuencia de las relaciones de depredación entre las diferentes especies (Godoy, 2021).

En conclusión, la preocupación acerca de la presencia de MPS es creciente como consecuencia de su ubicuidad, así como por el riesgo potencial para los organismos que pueden verse afectados tanto directa como indirectamente.

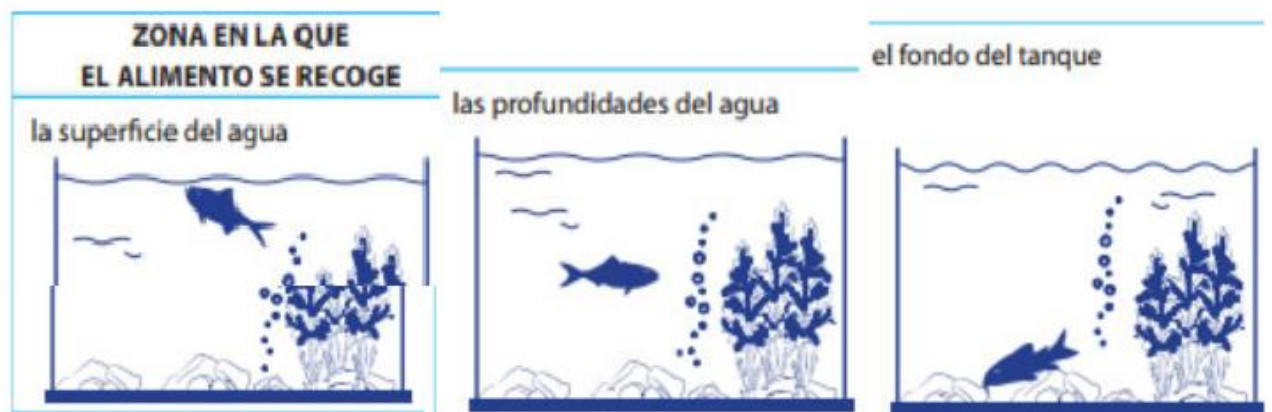
Por tanto, debido a su ubicuidad, los podemos encontrar en (Vásquez-Molano, 2021):

- Aguas superficiales
- Columna de agua (a diferente profundidad) (Figura 5).

La altura a la que se encuentren dentro de la columna de agua determinará qué individuos serán los más afectados y por qué materiales. De esta manera, los materiales de menor densidad, como el polietileno o el polipropileno, se encontrarán en la parte superior de la columna de agua, es decir, en la zona donde se localizan los peces pelágicos, fundamentalmente. Sin embargo, en ocasiones, estos compuestos de baja densidad pueden sufrir bioincrustaciones que incrementan su densidad y, en consecuencia, pasan a formar parte de zonas más profundas de la columna de agua.

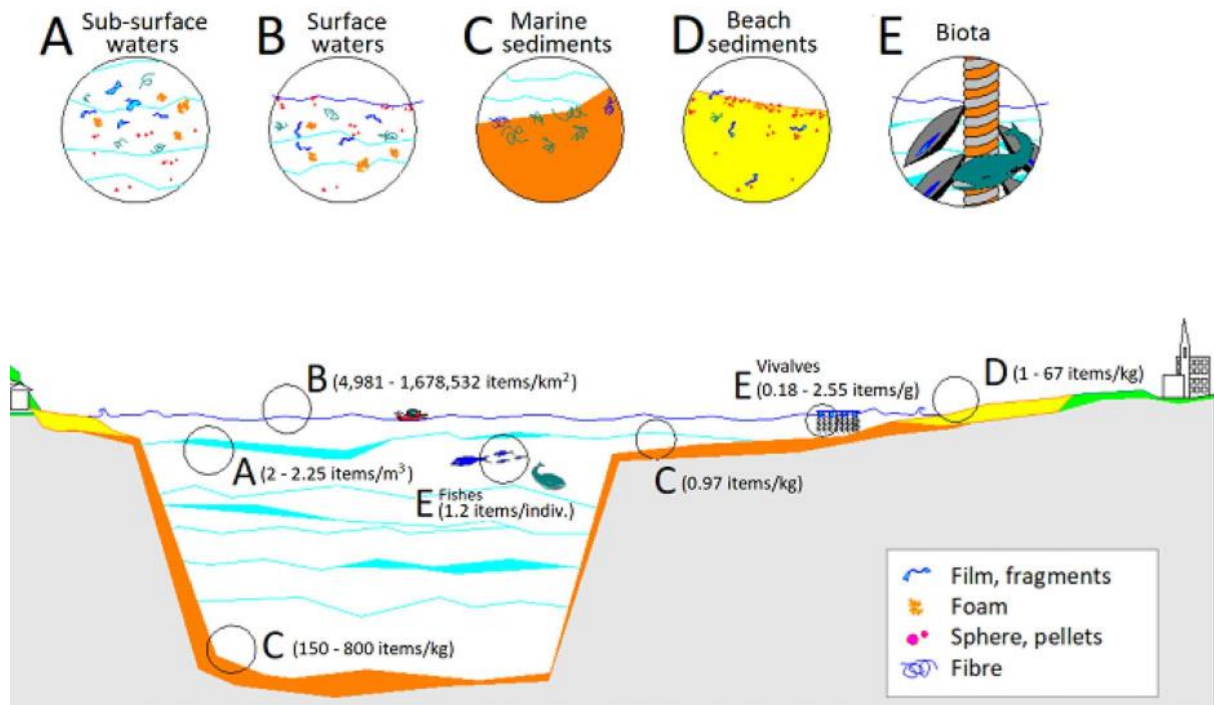
Por otro lado, materiales de mayor densidad (poliéster, cloruro de polivinilo) se localizan en zonas más profundas como el fondo marino y, en este caso, las especies más perjudicadas serán las demersales (Bellas et al., 2026).

- Sedimentos bentónicos
- Núcleos de hielo (en regiones polares)



**Figura 5.- Zonas de alimentación, en la columna de agua, de los peces (Acuarios Plantados, 2017)**

Aunque los mecanismos de incorporación, transferencia y eliminación de los plásticos en el organismo de animales marinos no son muy conocidos, se sabe que una vez estos elementos han sido ingeridos, pasan por el sistema digestivo y, en proporción variable, son eliminados. Sin embargo, una parte de estos elementos permanecen en el individuo, pudiendo incorporarse a otros órganos y tejidos no relacionados con los procesos digestivos como las branquias, el hígado, etc. (Godoy, 2021).



**Figura 6.-** Distribución microplásticos (Mendoza et al., 2020)

Además de las diferencias de la distribución en el medio acuático según el tipo y altura en la columna de agua, la distribución también se ve influenciada por las características del medio ambiente y la actividad humana del área en cuestión; Por ejemplo, en el primer estudio realizado sobre la ingesta de microplásticos en peces demersales en las costas españolas, se observó que las tasas de microplásticos presentes en los estómagos de animales capturados en el área próxima a Cataluña era mayor que en otras zonas como, por ejemplo, la costa Gallega.

Tras estudiar las características del área de captura se observó que, la zona de muestreo localizada en Barcelona se encontraba próxima a un área urbanizada con un importante puerto comercial mientras que, la zona muestreada en Galicia, tenía menos intervención humana (Bellas et al., 2016).

## 8. TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS PECES

Aunque disponemos de gran variedad de técnicas que permiten la detección e identificación de microplásticos en los peces, la ausencia de un consenso en cuanto al desarrollo metodológico dificulta o impide la comparación de resultados entre los diferentes estudios realizados.

Otro de los problemas a la hora de identificar MPs es que:

- Muchas veces se trata de partículas mezcladas con biopelículas, materia orgánica e inorgánica...Sin embargo, mediante pretratamientos con "hierro catalizador", podemos eliminar los compuestos que no sean polímeros.
- Cuando los MPs se encuentran en el medio sufren procesos de fragilización, fragmentación, decoloración...que dificultan el proceso de identificación. (Iheanacho *et al.*, 2022)

Dentro de las técnicas para la determinación de MPs, las podemos dividir en técnicas para la identificación (que incluiría procedimientos no destructivos) y técnicas para la detección (con métodos destructivos).

Las técnicas para la identificación se caracterizan en la gran cantidad de información que proporcionan, permitiendo una caracterización detallada del microplástico (aportan información acerca del color, tamaño, forma y tipo de polímero); sin embargo, se trata de técnicas que requieren de una gran inversión de tiempo y dinero. Dentro de las técnicas que permiten la identificación, las más importantes serían la Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y la Espectroscopia Micro-Raman ( $\mu$ RAMAN).

Por su parte, las técnicas destructivas como la desorción térmica nos permiten ahorrar tiempo en el análisis; el problema es que no aportan información específica sobre los compuestos.

En definitiva, la técnica a utilizar dependerá de los objetivos que persigamos y como, en general, el objetivo es conocer el efecto biológico de los MPs sobre el organismo, solemos emplear técnicas no destructivas (caracterización espectrofotométrica).

Para la identificación de los polímeros es imprescindible realizar una digestión del tejido obtenido, pero previamente a la extracción, debemos de medir y pesar a los organismos objeto de estudio. El método más utilizado para la digestión del tejido es el tratamiento alcalino con hidróxido de potasio (KOH) al 10%; El problema de esta técnica es que no está recomendada su utilización cuando trabajamos con muestras que presentan un alto contenido graso debido a que, la digestión, podría dañar algunos polímeros (esto se debe a que es una digestión que

requiere de mucho tiempo). Por tanto, en muestras con elevado contenido en grasa se suele combinar el KOH con algún detergente que acelere el proceso.

En el caso de que trabajemos con muestras de tamaño reducido, y el presupuesto no sea un limitante a la hora de elegir la técnica a emplear, podemos emplear tratamientos enzimáticos que no dañan los polímeros. Tras la digestión podemos realizar una filtración o separación por densidad.

Posteriormente, debemos proceder a la visualización de la muestra obtenida. Esta se puede realizar de diversas formas, entre las que destacamos (Pérez, 2020):

- **Macroscópicamente:** únicamente permite identificar grandes MPs. Además, nos puede proporcionar información relativa al color, tamaño y capacidad de transmisión de la luz.
- **Microscopio óptico:** permite la identificación de partículas de menor tamaño, incapaces de ser captadas por la vista humana. Además, permite obtener imágenes, lo cual es muy interesante para su posterior análisis debido a que facilita la determinación del número de partículas y la forma de estas.
- **Microscopía electrónica acoplada a espectroscopia de energía dispersa:** permite obtener imágenes de gran calidad y, además, facilita la identificación.
- **Microscopía de fluorescencia:** se suele emplear como método cuantitativo. La fluorescencia es muy útil a la hora de detectar microplásticos en tejidos.

## **9. EFECTOS SOBRE LOS ORGANISMOS MARINOS**

Los daños ocasionados por los plásticos son consecuencia de la ingesta, enmallamiento y asfixia; se calcula que, actualmente, el 90% de las aves marinas han ingerido alguna vez plástico y que, en 2050, este porcentaje se incrementará hasta el 99% (Gómez, 2019).

Por su parte, desde las Naciones Unidas han evaluado la cantidad de especies de peces que ingieren plástico y, han observado que, en el periodo de tiempo 2013-2019, la cantidad de estos se han duplicado (15% vs. 33%). Sin embargo, la cantidad de plásticos presente en las diferentes especies de peces es muy variable y, en la mayoría, limitada (María, 2021).

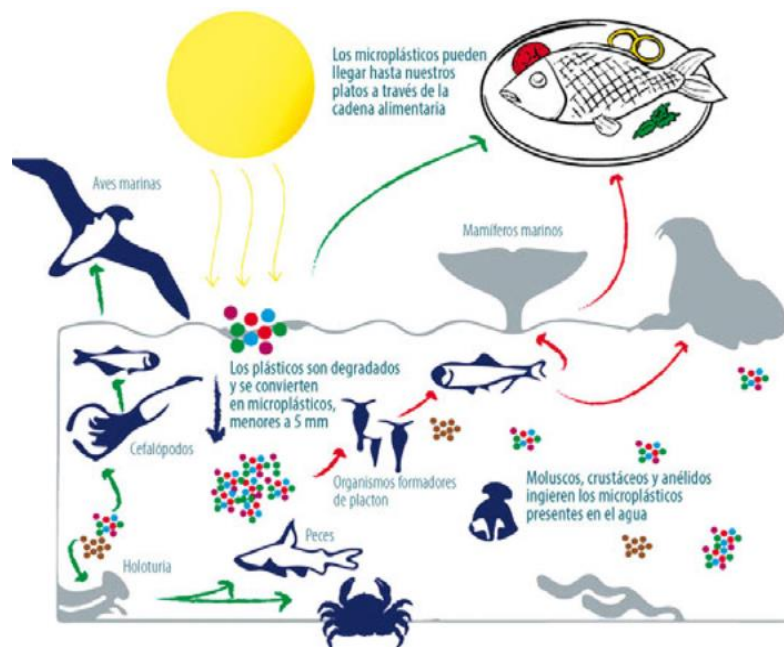
A los efectos anteriormente citados, debemos sumarles el efecto de los microplásticos, cuyos daños van más allá de los ocasionados por la ingestión, siendo capaces de transportar con ellos



tóxicos como consecuencia de su capacidad para absorber partículas químicas que se fijan en las paredes y se van acumulando. Estos contaminantes no tienen peligro a bajas concentraciones, pero debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación, sí que presentan problemas a largo plazo. Problemas que van apareciendo a medida que ascendemos en la cadena trófica (Gómez, 2019) (Figura 7).

En resumen, los microplásticos pueden generar problemas por...

1. Ingestión, tanto pasiva como activa.
2. Transporte de compuestos tóxicos.
3. Bioacumulación a lo largo de la cadena trófica. Este fenómeno es más importante en especies longevas por su mayor capacidad de almacenar plásticos y derivados a lo largo de su vida.



**Figura 7.-** Ruta de los microplásticos en la cadena trófica (Pérez, 2020)



**Figura 8.-** Efectos de los microplásticos sobre la salud (Vethaak, 2021)

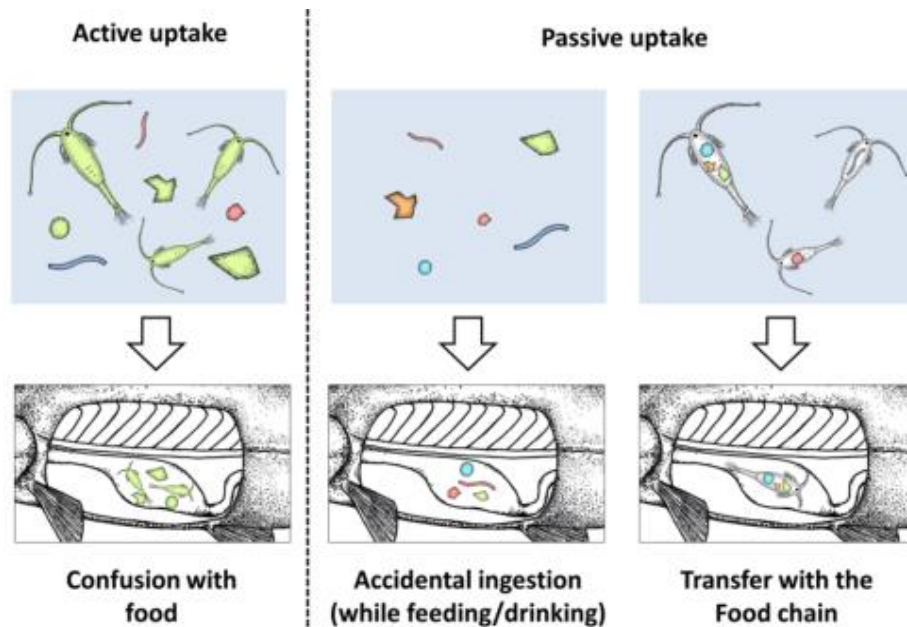
### 9.1. Ingestión de microplásticos

La ingestión de MPs puede ser tanto accidental como intencionada y es, fundamentalmente, consecuencia de su tamaño y apariencia similar al plancton (Crawford y Quinn 2017).

El efecto de la ingesta de estos contaminantes es tanto físico (obstrucciones digestivas) como por su capacidad para transportar contaminantes (aditivos), es decir, por presentar un elevado potencial para generar infecciones. Además, también pueden tener efectos combinados (Smit, 2019).

Dentro de las posibles teorías que explican el porqué de la ingesta de microplásticos (Figura 9) por parte de los organismos marinos, nos encontramos con:

- Confusión con presas.
- Absorción accidental durante la búsqueda de alimento.
- Transferencia a través de la cadena alimentaria.



**Figura 9.-** Posibles rutas de llegada de los microplásticos a los peces (Roch, Friedrich y Brinker, 2020)

Otra forma de ingestión que, generalmente, pasa desapercibida es la que se produce como consecuencia de la ingesta de agua. En este punto, es importante recordar que la “tasa de bebida” es baja en peces de agua dulce, pero elevada en aquellos peces que viven en aguas saladas.

Para valorar las diferencias en la ingesta de microplásticos a través del agua, se han realizado diferentes estudios, donde se ha observado que, independientemente del tamaño del pez y de la concentración de MPs en el agua, la probabilidad de los peces de agua dulce de ingerir microplásticos es considerablemente menor que en los de agua salada.

De hecho, los resultados obtenidos en el estudio realizado por Roch, Friedrich y Brinker (2020) en el que tomaron como referencia los peces de mayor talla (1 kg) y las concentraciones más elevadas de MPs (5000 partículas por m<sup>2</sup> o 9,1 partículas por litro), se observó que los peces de agua dulce tienen una probabilidad de ingerir MPs, aproximadamente, de una vez cada 300 horas. Sin embargo, la probabilidad de ingerir microplásticos en los peces de agua salada era diez veces mayor.

Además de las diferencias en la tasa de ingestión de MPs según el tipo de hábitat, también encontramos diferencias según la forma en la que los peces se guían para encontrar el alimento. En los peces que encuentran el alimento guiándose de la vista, la ingesta de MPs es, fundamentalmente, activa; sin embargo, en los peces “quimiosensoriales” que presentan alimentación selectiva y, por tanto, capacidad para discriminar alimentos, predomina la ingesta

de MPs pasiva (Wang, Ge y Yu, 2020). En este caso, la capacidad de discriminación, hace que la ingesta de MPs por parte de los peces quimiosensoriales sea menor que en los peces visuales.

En conclusión, la ingesta de MPs a través de la bebida será, en teoría, mayor en los peces de agua salada, mientras que la ingesta activa a través de la alimentación será mayor en los peces “visuales” debido a que no presentan capacidad de selección del alimento.

Otros factores que afectan en la absorción de MPs son:

- Concentración de MPs en el agua
- Comportamiento de búsqueda de alimento
- Tamaño del pez

#### **9.1.1. Efectos a nivel digestivo (Figura 10)**

Una de las consecuencias, posiblemente la más importante, de la ingesta de MPs, es la repercusión a nivel digestivo. Los efectos son generados, fundamentalmente, por la acumulación en el tracto gastrointestinal donde pueden producir bloqueo y, como resultado del incremento de la sensación de saciedad, disminución de la ingesta al verse bloqueado tanto el tránsito como la eliminación del alimento (Delgadillo, 2020). Sin embargo, los efectos de estos pueden ir más allá de los efectos mecánicos, afectando a la funcionalidad y estructura del sistema digestivo, dando problemas tanto a nivel nutricional como de crecimiento.

Entre las posibles vías para generar daño a nivel digestivo, debemos tener en cuenta que, es el epitelio intestinal donde se realiza la mayor parte del proceso de absorción tanto de nutrientes como de sustancias tóxicas y, es por esto, por lo que no sorprende que sea uno de los órganos más afectados (afección de diferente gravedad según el tiempo de exposición). Sin embargo, las patologías a nivel intestinal aparecen fruto de una exposición crónica y se manifiesta en deterioro estructural y funcional.

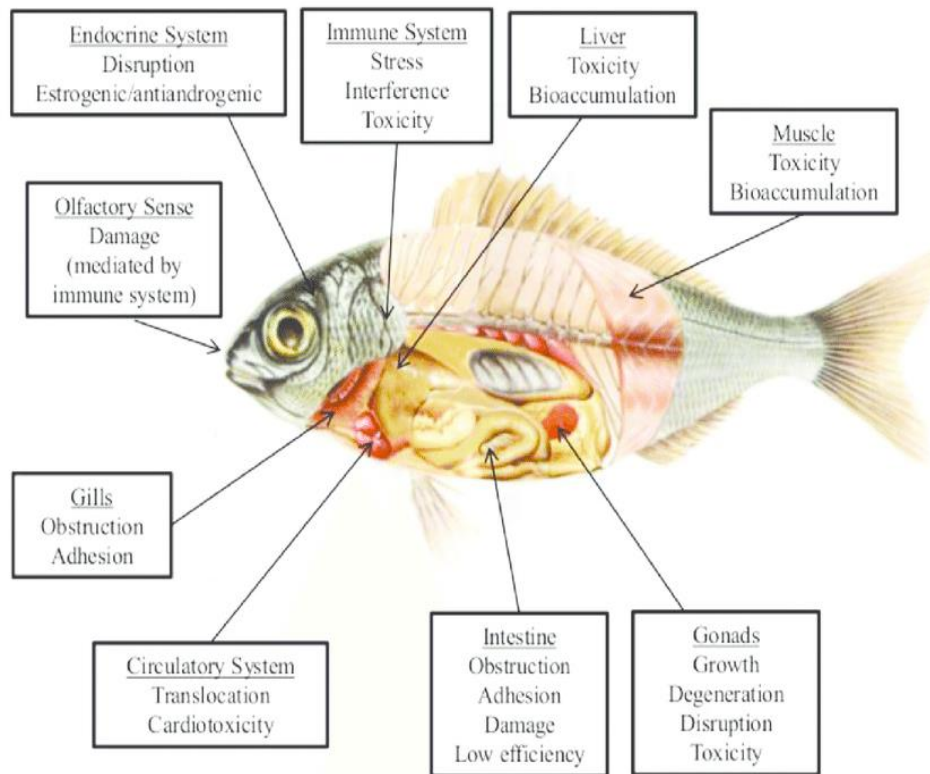
Dentro de las alteraciones en el tracto gastrointestinal destacamos el desprendimiento de la lámina propia, disminución del número y altura de las vellosidades intestinales, incremento de las células *Rodlet*, edemas, etc.

Con respecto a las células *Rodlet*, aunque su función todavía no es bien conocida, estudios recientes están sugiriendo su intervención en la respuesta inmunitaria innata (Smit, 2019).

En conclusión, podemos afirmar que el intestino es uno de los órganos que resultan más afectados por la exposición a contaminantes y microplásticos, en general. Otro importante

órgano afectado, serían las branquias, como consecuencia de gran superficie y su exposición constante a los contaminantes presentes en el agua.

Por otro lado, diversos estudios han demostrado que la concentración de contaminantes acumulados es mayor en órganos internos (hígado e intestino) que en externos (branquias), lo que podría dar lugar a numerosos efectos tóxicos para el organismo (Yin *et al.*, 2018).



**Figura 10.-** Principales efectos de los microplásticos en los peces (Larramendy, 2016)

### 9.1.2. Efecto energético

En un estudio realizado por Yin, L. et al. (2018) con individuos de jacobever (*Sebastes schlegelii*) (Figura 11), comúnmente conocido como “gallineta nórdica” o “cabrilla española”, se mostró los efectos de la ingesta de  $10^6$  partículas/L, de poliestireno procedente de microplásticos de diferente naturaleza.

En este estudio se observó que se producía una disminución en los siguientes parámetros:

- Tasa de incremento de peso
- Tasa de crecimiento
- Energía bruta



**Figura 11.-** *Sebastes schlegelii*

De entre los parámetros anteriormente citados, el más afectado era la tasa de crecimiento específico; la cual, se reducía en un 65,9%; por su parte el incremento de peso y la energía bruta disminuyeron en un 65,4% y 9,5%, respectivamente. Además, también había inducción de respuestas inflamatorias, alteraciones metabólicas e inmunitarias y trasposición de los MPs más pequeños a otros órganos que también se verían afectados como las branquias y el hígado (Wang, Ge y Yu, 2020).

Cabe señalar que, en el caso de la afectación energética en las hembras, los efectos van más allá del propio individuo, pudiendo repercutir en la descendencia; dando lugar a crías que no disponen de los elementos necesarios para su desarrollo. Esto se manifestaría con una descendencia con problemas neurológicos, desnutrición y menor tamaño.

Una de las teorías por las que se cree que la prevalencia de MPs en hembras es mayor que en machos es consecuencia del mayor requerimiento energético durante la reproducción y la puesta de huevos (Delgadillo, 2020).

El efecto a nivel reproductivo es consecuencia del efecto estrogénico ocasionado por químicos, asociados a los MPs. Por su parte, en los machos también encontraremos afección reproductiva con una disminución de los niveles de testosterona (Smit, 2019).

En otros estudios llevados a cabo, también, con juveniles de *Sebastes schlegelii* se observó que la exposición a poliestireno presente en los microplásticos disminuye el instinto de caza, dando lugar a individuos con menor velocidad en la natación, menor rango de movimiento y capacidad de alimentación. Debemos tener en cuenta que la disminución en la velocidad de desplazamiento se asocia con individuos de constitución más débil y que está estrechamente relacionada con la capacidad para huir de posibles depredadores, es decir, que esta afección en la capacidad de natación no sólo disminuye sus habilidades de caza, sino que aumenta su condición de presa o, dicho de otra manera, la susceptibilidad de los mismos a ser cazados (Yin *et al.*, 2018).

La causa de estas alteraciones comportamentales, en muchos casos, es el resultado del impacto negativo que los microplásticos, o sus contaminantes asociados, tienen sobre las células cerebrales o del sistema nervioso central; en algunas ocasiones, las deficiencias comportamentales son temporales. Sin embargo, el efecto es mucho más grave cuando la exposición se produce durante fases tempranas del desarrollo (Parker *et al.*, 2021).

En los estudios anteriormente citados (Yin *et al.*, 2018 y Parker *et al.*, 2021) se observó que los peces expuestos a poliestireno exploraban menos de la mitad del tanque; afirmando esa disminución en el comportamiento de caza y de exploración.

Las hipótesis sobre los posibles motivos responsables de estos cambios en el comportamiento son:

1. Cambios en la textura y contenido de agua del cerebro inducidos por los MPs.

En el estudio en juveniles de *Jacopever* se observó que tras la exposición a poliestireno se incrementó el contenido de agua del cerebro, debido a la elevada afinidad de dicho compuesto por los lípidos.

2. Estimulación del tracto intestinal y afección de la función digestiva, reduciendo la ingesta a través de cambios en el comportamiento y el apetito.
3. Estrés respiratorio y lesiones generadas por los microplásticos.
4. Estimulación del estrés oxidativo por parte del poliestireno.

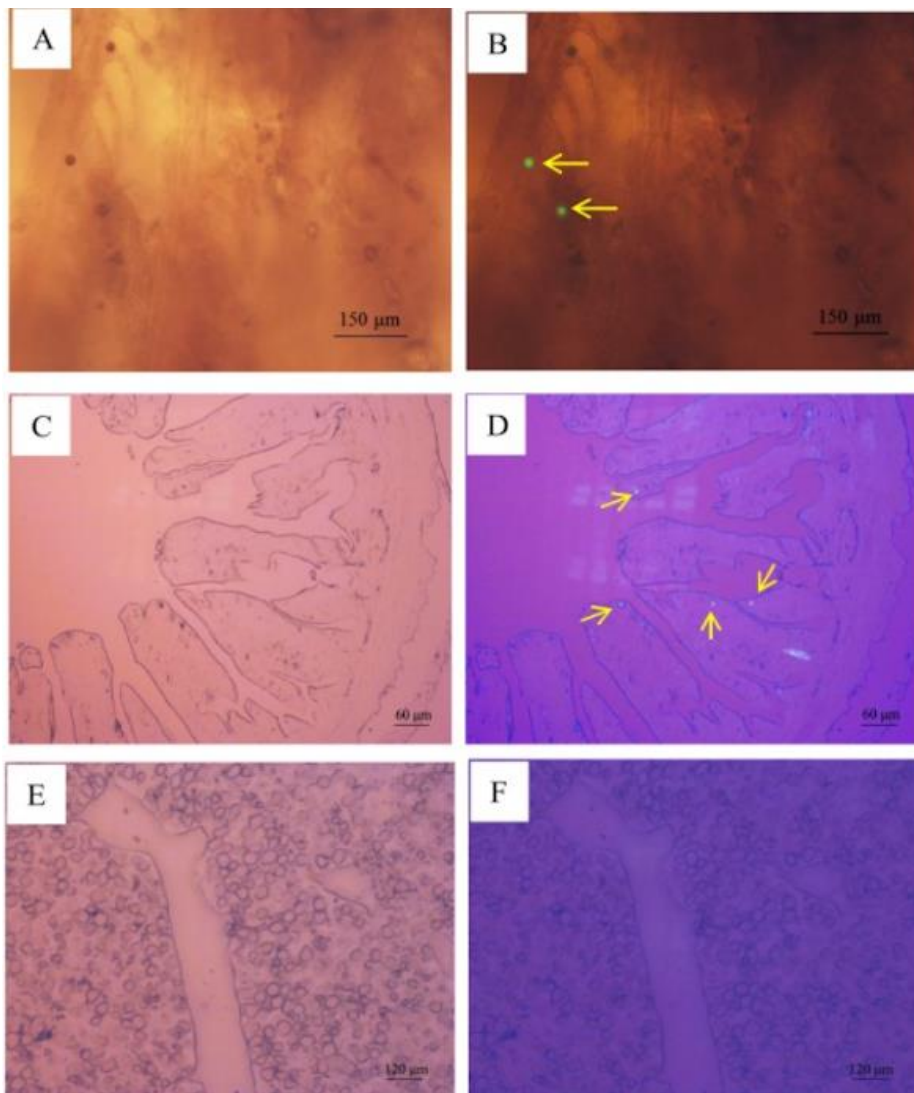
Otros efectos encontrados fueron, acumulación en branquias e intestino dando lugar a cambios histológicos en los mismos, disminución de las reservas de energía y calidad nutricional del pescado. Dicha pérdida de calidad nutricional se manifestó en una disminución en el contenido proteico y graso (Yin *et al.*, 2018).

- **Cambios histológicos generados por el poliestireno** (Figura 12)

Los contaminantes también generan cambios a nivel microscópico en los diferentes órganos afectados.

En el estudio de la exposición de juveniles jacopecver a poliestireno se observó (Yin *et al.*, 2018):

- Hígado: hiperemia como consecuencia del estrés hepático lo que puede indicar alteración de la función del mismo.
- Intestino: alteración del revestimiento, lo que podría dar problemas en la absorción de nutrientes. Además, dicha lesión fue más manifiesta en el intestino medio.



**Figura 12.-** Alteraciones histológicas en branquias (A, B), intestino (C, D) e hígado (E, F) tras una exposición de 21 días a poliestireno (Yin *et al.*, 2018). Las flechas amarillas (B y D) señalan las partículas de poliestireno en branquias e intestino, respectivamente, tras aplicar fluorescencia.



## **9.2. Efecto de la translocación en el organismo**

Existe la posibilidad de que los microplásticos ingeridos salgan del sistema digestivo y se desplacen, gracias al sistema circulatorio y/o linfático a diversos órganos, dando lugar a una distribución generalizada de los mismos (Smit, 2019).

Uno de los órganos más afectados por esta translocación es el hígado, donde encontraremos efectos por estrés hepático con:

- Agotamiento de las reservas de glucógeno
- Vacuolización de los ácidos grasos
- Necrosis celular

### **9.2.1. Transporte de compuestos tóxicos**

Con respecto a los contaminantes asociados a los MPs, destacamos la presencia de los POPs (Persistent Organic Pollutant), es decir, contaminantes orgánicos persistentes responsables de graves problemas para la salud debido a su capacidad para generar tumores, reacciones de hipersensibilidad, alteraciones nerviosas, reproductivas, inmunológicas y, en ocasiones, disrupciones endocrinas (ISTAS, 2010).

Los POPs son contaminantes ubicuos cuya degradación en el medio es complicada; además, generalmente, son lipofílicos, es decir, que presentan tendencia a acumularse en los tejidos de los organismos marinos. Aunque es cierto que muchos de estos compuestos han sido prohibidos y, en otros, se ha reducido su liberación al medio, la concentración de POPs presente en peces sigue alcanzando niveles tóxicos (Johnson *et al.*, 2013). Actualmente sabemos que los contaminantes, entre los que se encuentran los POPs, alteran el sistema endocrino, la reproducción, desarrollo y otras funciones hormonales de los peces.

Más adelante se exponen, en detalle, los efectos de los contaminantes orgánicos persistentes en el organismo, así como el efecto de otros contaminantes vehiculados por los microplásticos.

## **9.3. Bioacumulación (Transferencia a lo largo de la cadena trófica)**

El efecto de la ingesta de los microplásticos va más allá del daño que ocasionan en los propios peces. Esto se debe a la capacidad de bioacumulación y biomagnificación, es decir, al daño que se genera en individuos (tanto animales como personas) que ingieren peces con MPs en su interior. La causa fundamental de estos efectos es la absorción de microplásticos por los organismos que se encuentran en la base de la cadena trófica, como las algas (productores

primarios), quedando así biodisponibles en el ambiente y aumentando la probabilidad de ser ingeridos (Aldana, 2022).

Si bien es cierto que el grado de contaminación y la frecuencia de la presencia de microplásticos en los peces varía mucho según la zona de captura y el lugar en la cadena trófica que ocupe el animal, en todos los estudios realizados hasta la fecha, se ha observado una prevalencia importante en todas las muestras analizadas.

Algunos de los estudios realizados han obtenido los siguientes resultados (Greenpeace, 2016):

- Un estudio portugués encontró microplásticos en el 19,8% de 263 pescados pertenecientes a 26 especies comerciales diferentes.
- Un análisis de los peces pescados, con técnicas de arrastre, en el canal de la Mancha, obtuvo un 36,5% de peces positivos a la presencia de polímeros sintéticos.

Esto ha llevado a la realización de diferentes estudios, como los realizados por la Organización mundial de la salud (OMS), para saber hasta qué punto, a los niveles en los que se encuentran en los organismos marinos, estas partículas son dañinas para las personas. Los resultados obtenidos indican que, actualmente, el consumo de pescado con microplásticos en su interior no presenta riesgo para la salud humana. Por otro lado, un profesor de epidemiología genética de Londres indica que el consumo de microplásticos afecta a la microbiota intestinal y, en consecuencia, que estos elementos tienen efectos negativos para la salud inmunológica (María, 2021).

En definitiva, debido a las discrepancias existentes, se considera necesaria la realización de más estudios a nivel mundial para poder disponer de evidencias claras sobre el efecto de estos en la salud humana.

Para la determinación del grado de lesión que los microplásticos ocasionan en el organismo, se emplean biomarcadores, es decir, parámetros que podemos cuantificar y que están íntimamente relacionados con el grado de disfunción ocasionado. Dichos biomarcadores pueden ser de naturaleza bioquímica (concentración macromolecular), fisiológica (función), histológica (estructura tisular) o morfológica (condición física), aunque, generalmente, para obtener una óptima estimación sobre la respuesta biológica frente a las alteraciones ambientales se combinan diferentes marcadores.

Cabe señalar que, para la evaluación de la respuesta de los organismos marinos al plástico y derivados, se suelen emplear biomarcadores bioquímicos de respuesta temprana que nos darán información significativa, especialmente, acerca del estrés oxidativo (Aldana, 2022).

#### **9.4. MPs como vectores de contaminantes:**

Anteriormente se ha comentado la capacidad de los MPs para transportar diversos contaminantes; estos contaminantes se caracterizan por presentar una escasa solubilidad, lo que les permite acumularse en partículas orgánicas del estilo de los microplásticos, es decir, que la ingesta de MPs se considera como un posible mecanismo de transferencia de contaminantes.

El proceso consta de dos fases: la primera, es ampliamente conocida y se basa en la hidrofobicidad de las partículas plásticas; de hecho, la concentración de contaminantes en los MPs es muy superior a la concentración de estos en el agua circulante. Sin embargo, la segunda fase del proceso consistiría en la liberación de estos contaminantes en el interior de los organismos marinos que ingieren MPs y, esto, todavía no está bien estudiado (Campoy y Beiras, 2019).

Cabe señalar que el efecto de los microplásticos como vectores de contaminantes va más allá de su liberación en el organismo puesto que, aunque en menor proporción, también pueden liberar esos contaminantes al agua, teniendo también consecuencias tóxicas para los organismos que en ellas habitan.

Uno de los contaminantes más estudiados es el poliestireno. En diversos estudios realizados con ejemplares de la especie *Sebastes schlegelii* se ha comprobado que cuando estos contaminantes se encuentran en el agua, las branquias son el principal órgano de acumulación, debido a la extensa superficie de exposición.

Además, estos compuestos también pueden ser introducidos en el interior del organismo a través de la ingesta. Una vez en el interior, atraviesan todo el sistema digestivo y, en parte, son excretados al medio ambiente por las heces. El problema de esta eliminación es que los contaminantes caen al fondo marino envueltos por las heces, pudiendo ocasionar problemas en los peces bentónicos (Yin *et al.*, 2018). Los tipos de contaminantes que pueden ser devueltos al agua por medio de las heces son múltiples, pero entre ellos, destacamos el bisfenol cuya presencia afecta al desarrollo fetal, fundamentalmente, y los difeniléteres, los cuales son unos importantes disruptores endocrinos que afectan principalmente al tiroides (Varnhorn *et al.*, 2016).

Otros contaminantes destacables son: (Varnhorn *et al.*, 2016)

- Ésteres de ftalato
- Nonilferol: con una elevada toxicidad para los organismos acuáticos al comportarse como un disruptor endocrino de peces, pudiendo generar feminización.
- Bifenilos policlorados: tóxico para el sistema inmune, reproductor y nervioso. Además, puede generar daño hepático y es carcinogénico.
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos: carcinogénico, mutagénico y tóxico a nivel reproductivo. Presentan una elevada persistencia y bioacumulación
- Residuos de plaguicidas: el dicloro difenil tricloroetano (DDT), compuesto de elevada toxicidad para los organismos acuáticos, presenta efectos a nivel reproductor y endocrino. Por su parte, el lindano (HCH) presenta toxicidad hepática y renal, entre otras.

Dentro de los contaminantes que pueden ser transportados por los microplásticos, también nos podemos encontrar los “contaminantes orgánicos persistentes” (POPs o COPs), los cuales tienen efecto a diferentes niveles del organismo entre los que destacamos:

- **Nivel endocrino:** aunque es cierto que presentan una actividad hormonal limitada, su capacidad para acumularse en diferentes tejidos (bioacumulación) hace que presenten riesgo para la salud. Las interacciones POPs-Sistema endocrino varían según la sustancia química, la especie de pez, sexo y etapa reproductiva, entre otros.

Los efectos ocasionados son los siguientes:

- **Reproductor:** Desde los años 70 se han descubierto diferentes clases de estos contaminantes que afectan al sistema endocrino reproductivo de las hembras, dando lugar a una menor tasa de eclosión, incremento de la mortalidad tras la eclosión, así como cese de la reproducción.

El motivo de lo anterior se debe a que la exposición a bifenilos policlorados (PCB) se asocia a disminución de esteroides sexuales y de la capacidad reproductiva y, además, los PCBs similares a las dioxinas presentan actividad estrogénica en los peces.

Aunque los problemas anteriormente citados afectan a las hembras, los POPs también tienen efectos en los peces macho. Por ejemplo, la exposición a aroclor en machos de corvina atlántica (*Argyrosomus regius*) durante el recrudescimiento

gonadal, disminuye los niveles de serotonina y, por tanto, el crecimiento gonadal (Tierney, Farrel y Brauner, 2014).

Además, en diversos estudios, como el realizado por Grgić et al. (2023), se ha demostrado que los efectos ocasionados por dichos contaminantes en las hembras son mayores que en los machos. El motivo de esta diferencia se debe a que las hembras presentan una mayor respuesta frente al estrés y que esto se debe a que su objetivo, reproductivamente hablando, es obtener el máximo número de descendientes posibles.

En conclusión, podemos determinar que la diferencia en la frecuencia e intensidad de la presentación de efectos adversos, a nivel reproductivo, se debe a que las hembras presentan requerimientos energéticos mucho mayores a los requerimientos de los machos.

- **Tiroides:** Se ha demostrado que los POPs generan disrupciones tiroideas en peces, tanto en el desarrollo temprano, metabolismo o crecimiento, entre otros.

Las principales hormonas tiroideas en peces son la tiroxina (T4) y la triyodotironina (T3).

La exposición al polibromodifenil éter (PBDE) se asocia con una alteración del eje hipotálamo-hipófisis-tiroides a diferentes niveles entre los que se incluye la síntesis de sustancias estimuladoras, conversión de T4 a T3 y síntesis de proteínas reguladoras, entre otras. Además, estas alteraciones pueden ser hereditarias. Sin embargo, debemos tener en cuenta que, los impactos negativos de los tóxicos sobre la función tiroidea pueden verse disminuidos cuando en las células del folículo tiroideo existen grandes reservas de T4, pues será más complicado que lleguemos al agotamiento de esta (al detenerse la síntesis).

No obstante, estos efectos deben de ser estudiados con mayor profundidad para conocer las diferencias que existen entre las distintas sustancias pues, en la mayoría de los casos, los ensayos se han realizado en condiciones de laboratorio (Tierney, Farrel y Brauner, 2014).

- **Eje hipotálamo-adrenal-pituitaria:** los COPs interfieren con la capacidad para reaccionar a los estresores ambientales.

Por ejemplo, se ha demostrado que la exposición, durante la etapa juvenil, a Bifenilos Policlorados (PCB) genera alteraciones en la concentración hormonal de

adrenocorticotrópica (ACTH) y en los niveles de cortisol (Tierney, Farrel y Brauner, 2014).

Además de los efectos anteriores, también se ha demostrado su efecto en mecanismos de regulación de peso, promoviendo la acumulación de lípidos y la adipogénesis; otros generan alteraciones en los esteroides sexuales o sobre distintos ejes funcionales (Tierney, Farrel y Brauner, 2014).

- **Desarrollo:** se considera que las primeras etapas de vida son las que presentan una mayor susceptibilidad al efecto de los contaminantes. De hecho, la exposición durante estas fases puede dar lugar a una mayor tasa de mortalidad, disminución de la tasa de eclosión... Dichos compuestos pueden afectar al embrión de manera directa o por transferencia materna.

- **Transferencia materna:** El corion junto con la membrana vitelina protegen al embrión frente a la exposición a contaminantes presentes en el agua, es decir, que los COPs detectados, tanto durante la etapa embrionaria como de desarrollo temprano, se consideran de origen materno.

Durante la reproducción, los COPs lipofílicos son movilizados simultáneamente a la movilización de lípidos permitiendo la llegada de estos contaminantes a las gónadas y, finalmente, a los huevos. Sin embargo, la transferencia de estos depende de la especie.

En los peces ovíparos, los lípidos de reserva energética, los nutrientes y las principales hormonas necesarias para el desarrollo son transferidas por las madres; además, también existe transferencia de cortisol, anticuerpos, proteínas y diferentes hormonas; Con respecto a esto, existen evidencias que aseguran que la exposición a COPs puede interferir en la transferencia normal de estos importantes componentes.

Entre los efectos ocasionados, podemos destacar el impacto sobre los retinoides. Los metabolitos de los retinoides son los responsables de la regulación de la proliferación celular, diferenciación y función tisular; el problema es que, diferentes clases de COPs, interfieren en el metabolismo de estos compuestos y, en algunos casos, se puede producir el agotamiento de las reservas, dando lugar a malformaciones larvarias.

Una de las hipótesis que explica la causa de efectos endocrinos y reproductivos de los microplásticos, es que se deben a la capacidad de estos para para (Smit, 2019):

1. Simular hormonas endógenas.
2. Antagonizar efectos de hormonas endógenas.
3. Interrumpir la síntesis y metabolismo de hormonas endógenas.
4. Interrumpir la síntesis y metabolismo de receptores hormonales.

## **10. RECOMENDACIONES**

Consecuencia de la creciente preocupación acerca de los microplásticos sobre los recursos pesqueros y la acuicultura, la inocuidad de los productos marinos y, por tanto, en la salud de las personas (FAO, 2018) se deben poner en marcha una serie de acciones encaminadas a frenar el problema de la contaminación por microplásticos.

En primer lugar, debemos recordar que los plásticos llegan a los océanos por diversas vías (vía fluvial, viento, marea, etc.) como consecuencia de la eliminación indiscriminada y el manejo inadecuado de los desechos. Es por ello por lo que, el primer paso, sería mejorar el manejo de los desechos y fomentar el reciclaje.

Otra fuente importante de MPs son los productos de cosmética, especialmente los enjuagables, por lo que muchos países como Canadá, Francia, Holanda, etc. Han recurrido a la prohibición de la presencia de microesferas en productos de cosmética y cuidado personal.

También podemos reducir el uso de plásticos de un solo uso (ejem.: bolsas de plástico, botellas de agua, etc.), disminuyendo así la cantidad de plásticos que ingresan en los diferentes ecosistemas. Para fomentar esta propuesta muchos países han prohibido el uso de bolsas plásticas, han creado un impuesto o han establecido límites en cuanto a su uso. Por otra parte, también existen países que han adoptado incentivos para aquellos consumidores que reutilicen dichos productos.

Otras medidas serían:

- Sustituir la harina de pescado de la dieta de los peces por otra fuente proteica (ejem.: proteína vegetal, proteína unicelular, etc.)
- Reemplaza los equipos y herramientas elaborados a base de plásticos por otros a base de materiales naturales (ejem.: a base de cáscara de coco) o biodegradables.
- Fomentar la biodegradación, es decir, la presencia de microorganismos e insectos que se alimenten de plástico y que, en consecuencia, se encargan de degradar los polímeros en moléculas más sencillas.
- Reducir, recapturar, reutilizar y reciclar los desechos plásticos

Para reducir el uso de materiales plásticos debemos concienciar acerca de los efectos adversos de los mismos, crear legislación orientada a la prohibición del uso de materiales plásticos en instalaciones, equipos pesqueros, entre otros.

Con el término recapturar, nos referimos a disminuir los residuos plásticos ya presentes en el medio ambiente. Actualmente, ha habido un gran avance en las tecnologías que nos permiten recuperar las fugas accidentales de estos materiales antes de que ingresen en el medio acuático, así como el desarrollo de nuevas técnicas para mejorar la elaboración y la eficacia de los filtros.

El reciclaje y la reutilización también son una herramienta fundamental para conseguir los objetivos anteriormente mencionados. En este punto ya existe un gran avance puesto a que el 26% de este tipo de residuos se reciclan en nuevos productos.

(Iheanacho, et tal., 2022).

## **11. CONCLUSIONES**

Como resultado de lo anteriormente expuesto nos encontramos con que:

1. Los organismos marinos están expuestos a un elevado número de contaminantes de naturaleza plástica.
2. Los plásticos presentes, en el medio, están expuestos a diversos procesos ambientales que favorecen y propician su fragmentación en microplásticos (MPs secundarios).



3. Los efectos adversos que los MPs generan en la salud de los peces, fruto de la bioacumulación y biomagnificación, son muy variados aunque requieren de un mayor estudio, especialmente en el ámbito de la salud pública.

## **12. CONCLUSIONS**

As a result of the above, we find that:

1. Marine organisms are exposed to a high number of plastic pollutants.
2. Plastics present in the environment are exposed to various environmental processes that promote and facilitate their fragmentation into microplastics (secondary MPs).
3. The adverse effects that MPs have on the health of fish, due to bioaccumulation and biomagnification, are diverse, although they require further study, especially in the field of public health.

## **13. VALORACIÓN PERSONAL**

Este trabajo de fin de grado ha supuesto un balance positivo en mi formación académica, ayudándome a ampliar conocimientos acerca de la repercusión que nuestras acciones pueden tener directamente sobre el medio acuático e, indirectamente, sobre nuestra propia salud.

En cuanto a la elección del tema a tratar; en primer lugar, después de realizar las prácticas curriculares en el centro de recuperación de fauna silvestre, la Tahonilla, sabía que quería centrar el trabajo en fauna silvestre. Además, otro hecho que incrementó mi interés en hablar de este tipo de animales, fue que la mayor parte de los animales que ingresarán en la Tahonilla tuvieran algún problema de salud generado por la actividad antropogénica. Sin embargo, debido a la gran cantidad de trabajos ya existentes que tratan el impacto de los plásticos en tortugas marinas y otros animales, tuve que pedir orientación a mis tutores, los cuales me propusieron tratar un tema de interés creciente como son los microplásticos y en unos animales, actualmente bastante desconocidos, como son los peces.

Finalmente, he de señalar que la realización de este trabajo me ha permitido saber que quiero continuar mi formación profesional hacia el ámbito de la investigación.

Con respecto a los conocimientos obtenidos tras la realización de este estudio; considero que sería conveniente una mayor investigación acerca de las consecuencias, a largo plazo, que pueden generar estos compuestos.

Si bien es cierto que, actualmente, se están realizando estudios a nivel de laboratorio, las condiciones en las que estos se realizan no se asemejan, en su mayoría, a las condiciones reales en las que viven los peces en el medio natural. Generalmente, estos estudios emplean grados de contaminación muy por encima de los reales y, además, todos suelen emplear las mismas especies como puede ser el atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*) o la sardina crinuda (*Opisthonema libertate*), es decir, especies de interés comercial.

Por tanto, para poder continuar avanzando en el conocimiento de estos compuestos se deberían realizar estudios que simulen las condiciones ambientales reales o tomar como muestras peces pescados del medio natural, Además, también sería interesante que se realizaran en una mayor variedad de especies y no únicamente en las que presenten un interés económico.

#### 14. BIBLIOGRAFÍA

Abbas, N. (2018) "Qué son los microplásticos: definición y tipos". *Ecología Verde*, 27 de agosto. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-microplasticos-definicion-y-tipos-1543.html> [Consultado 04-12-2022].

Acuarios plantados (2017). "Guía para la alimentación de los peces". [acuariosplantados.com](http://acuariosplantados.com). Disponible en: <https://acuariosplantados.com.ar/guia-la-alimentacion-los-peces/> [Consultado 21-05-2023]

Aldana Aranda, D. et al. (2022) "Contaminación por microplásticos", *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), pp. 65–67. Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_2/PDF/Ciencia\\_73-2.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf).

(Consultado 09-05-2023)

(Aldana, D et. al, 2022)

AZTI (2019). "**4 respuestas para saber todo sobre microplásticos**". Disponible en: <https://www.azti.es/4-respuestas-para-saber-todo-sobre-microplasticos> [Consultado 04-12-2022).

**Microplásticos: pequeños fragmentos, gran problemática** (2020). Barcelona: Serveis ambientals marins. Disponible en: <https://anellides.com/es/blog/microplasticos-pequenos-fragmentos-gran-problematica> [Consultado 04-12-2022]

Batel, A., Linti, F., Scherer, M, Erdinger, L. y Braunbeck, T. (2016) "Transfer of benzo[a]pyrene from microplastics to Artemianauplii and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants: Trophic transfer of microplastics and associated POPs", *Environmental toxicology and chemistry*, 35(7), pp. 1656–1666. DOI: 10.1002/etc.3361.

Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V. y Martínez-Gómez, C. (2016). "Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and

Mediterranean coasts". *Marine Pollution Bulletin*, 109, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.026> [Consultado 23-05-2023]

Cabrera, M. V. (2018). *Evaluación de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) el Trocadero del municipio de Puerto Real como ruta de entrada de Microplásticos al medio acuático*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Cádiz. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/333811990\\_EVALUACION\\_DE\\_LA\\_ESTACION\\_DEPURADORA\\_DE\\_AGUA\\_RESIDUAL\\_EDAR\\_EL\\_TROCADERO\\_DEL\\_MUNICIPIO\\_DE\\_PUERTO\\_REAL\\_COMO\\_RUTA\\_DE\\_ENTRADA\\_DE\\_MICROPLASTICO\\_AL\\_MEDIO\\_ACUATICO/link/5d0edd8e92851cf44044407d/download](https://www.researchgate.net/publication/333811990_EVALUACION_DE_LA_ESTACION_DEPURADORA_DE_AGUA_RESIDUAL_EDAR_EL_TROCADERO_DEL_MUNICIPIO_DE_PUERTO_REAL_COMO_RUTA_DE_ENTRADA_DE_MICROPLASTICO_AL_MEDIO_ACUATICO/link/5d0edd8e92851cf44044407d/download) [Consultado 21-05-2023]

Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., y Manzano, C. (2020). "Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición". *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160–175. Disponible: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602020000300005&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602020000300005&script=sci_abstract) [Consultado 01-05-2023]

Campoy, P. y Beiras, R. (2019). *Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos*. Disponible en: [http://ecotox.uvigo.es/sites/default/files/projects/repescaplas/documents/efectEcolPlastRePesCaplas2ECOTOX\\_05\\_2019\\_1.pdf](http://ecotox.uvigo.es/sites/default/files/projects/repescaplas/documents/efectEcolPlastRePesCaplas2ECOTOX_05_2019_1.pdf) [Consultado 04-12-2022].

Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (2021). *La problemática del plástico y los microplásticos: producción, contaminación e incorporación a la cadena trófica*. Disponible en: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/la-problematica-del-plastico-y-los-microplasticos-produccion-contaminacion-e-0> [Consultado 09 -05- 2023]

Crawford, C. B. y Quinn, B. (2017) "The biological impacts and effects of contaminated microplastics". *Microplastic Pollutants, 2017*, pp. 159–178. DOI: 10.1016/B978-0-12-809406-8.00007-4 [Consultado 20-05-2023]

Delgadillo, M. (2020) "Microplásticos, ¿el pan de cada día de los peces?". *Pesquisa Javeriana, 8 junio*. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/microplasticos-el-pan-de-cada-dia-de-los-peces> [Consultado 04 -12-2022].

Díaz, R. (2021). "Descubren que los microplásticos pueden ser «plato de gusto» para los microbios". *Verde y azul*, 3 de abril. Disponible en: <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/descubren-que-los-microplasticos-pueden-ser-plato-de-gusto-para-los-microbios.html> [Consultado: 05 - 12- 2022]

Editorial RSyS (2021). Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. Disponible en: <https://responsabilidadsocial.net/plasticos-que-son-caracteristicas-tipos-y-reciclaje> [Consultado 04-12- 2022].

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1327/1/TTMA08D.pdf> [Consultado 10-12-2022].

European Commission (2013). "Guidance on monitoring of marine litter in European seas." *JRC Scientific and Policy reports*, pp. 94-112. Madrid: CE. DOI: 10.2788/99475 (pdf) [Consultado 20-05-2023]

Freepik (2021). Disponible en: [https://www.freepik.es/vector-premium/plantilla-incorporacion-efectos-sobre-salud-microplasticos-sitio-web-movil-receptivo-iconos\\_14763118.htm](https://www.freepik.es/vector-premium/plantilla-incorporacion-efectos-sobre-salud-microplasticos-sitio-web-movil-receptivo-iconos_14763118.htm) [Consultado 21-05-2023]

Greenpeace (2016). *Plásticos en el pescado y el marisco*. Disponible en: [http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/Plasticos en el pescado y el mariscoLR.pdf](http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/Plasticos%20en%20el%20pescado%20y%20el%20mariscoLR.pdf) [Consultado 4-12-2022]

Godoy, V. (2021). *Origen, caracterización e impacto de los microplásticos presentes en el medio ambiente. Aplicación a la provincia de Granada (España)*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/69067> [Consultado 21-05-2023]

Gómez, J., Timoner, I., Castell, V., Salas-Salvadó, J., Sanchías, V. y Nadal, M. (2019). "Microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria. Situación actual". *Informe aprobado por el Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria en noviembre 2019*. Disponible en

[https://acsa.gencat.cat/web/.content/Publicacions/Informes-tecnics/comite\\_cientific\\_assessor/publis/nanoplastics/informeCCA-micro\\_nanoplasticos\\_ES051119ac-003.pdf](https://acsa.gencat.cat/web/.content/Publicacions/Informes-tecnics/comite_cientific_assessor/publis/nanoplastics/informeCCA-micro_nanoplasticos_ES051119ac-003.pdf) [Consultado 21-05-2023]

Grgić, I, Cetinić, K.A., Karačić, Z., Previšić, A. y Rožman, M. (2023). "Fate and effects of microplastics in combination with pharmaceuticals and endocrine disruptors in freshwaters: Insights from a microcosm experiment". *Science of the Total Environment*, **859**, pp. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160387> [Consultado en 22-05-2023]

Herrera, A., Liria, A., Ostiategui, P. y Gómez, M. (2017). "Los Microplásticos. Amenaza en los ecosistemas marinos". *Okeanos*, **5**, pp.12-18. Disponible en: <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/71275/2/microplasticosamenazaecosistemas.pdf> [Consultado 04-12-2022].

Iheanacho, S., Ogbu, M., Bhuyan, M. S., y Ogunji, J. (2022). "Microplastic pollution: An emerging contaminant in aquaculture". *Aquaculture and Fisheries* **8 (2023)**, pp.603–616. Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2468550X23000175?token=E69486755EB106520F8FF8DFA2F5BC63DE89FF5608557B45AF2146ED33C0DB60058C7901AE45AF9785D86EB9F352B147&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230520075954> [Consultado 20-05-2023]

Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (2010). ISTAS. Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas (RISCTOX). Disponible en: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=1185> [Consultado 04-12-2022]

Johnson, L. L., Anulacion, B. F., Arkoosh, M. R., Burrows, D. G., da Silva, D. A. M., Dietrich, J. P., Myers, M. S., Spromberg, J., y Ylitalo, G. M. (2013). "Effects of legacy persistent organic pollutants (POPs) in fish—current and future challenges". *Fish Physiology*, **33**, pp. 53–140. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123982544000029> [Consultado 20-05-2023]

Lapresa, J. (2018) **2050: más plásticos que peces en los océanos**. Disponible en: <https://es.weforum.org/agenda/2018/06/2050-mas-plasticos-que-peces-en-los-oceanos> [Consultado 04-12-2022]

María, F. (2021). "210 especies de peces de consumo contienen plásticos". *Okdiario*, 1 de marzo. Disponible en: <https://okdiario.com/naturaleza/210-especies-peces-consumo-contienen-plasticos-6892260> [Consultado 04–12-2022].

Mendoza, A., Osa, J.L., Basurko, O.C., Rubio, A., Santos, A., Gago, J., Galgani, F. y Peña-Rodríguez, C. (2020). "Presencia de microplásticos en el Golfo de Bizkaia". *Campus*, **153**.

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110996 [Consultado 05-12-2022]

Mendoza, M. y Mendoza, K. T. (2020). *Presencia de Microplásticos en peces pelágicos de mayor comercialización en el mercado de "Playita Mía" de la ciudad de Manta*. Trabajo de Fin de Grado.

Ministerio de Ambiente, Perú (2022). *¿Qué son los microplásticos?*. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/que-son-los-microplasticos> [Consultado 04-12-2022]

Milthon (2022). "Tratamiento de las aguas residuales de la acuicultura". *Aquahoy*. Disponible en: <https://aquahoy.com/tratamiento-aguas-residuales-acuicultura/> [Consultado 21-05-2023]

Ochoa, DM y González, JF (2008) "Estrés oxidativo en peces inducido por contaminantes ambientales". *Revista de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, **55** (2), pp. 115–126. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4076/407639218006.pdf>. [Consultado 04-12-2022]

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2018). "Los microplásticos en la pesca y la acuicultura: resumen de un estudio de la FAO". 33º Periodo de sesiones. Roma, 9-13 de julio de 2018. pp.2-3. Disponible en: <https://www.fao.org/3/MX201ES/mx201es.pdf> [Consultado: 13-04-2023]

Parker, B., Andreou, D., Green, I. D., y Britton, J. R. (2021). "Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives". *Fish and Fisheries*, **22**(3), pp.467–488.

DOI: [10.1111/faf.12528](https://doi.org/10.1111/faf.12528) [Consultado 09-05-2023]

Pérez, J. A. C. (2020). *Revisión de la problemática de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico*. Trabajo de monografía. Universidad de Antioquia. Disponible en: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15453/4/CorreaJefferson\\_2020\\_MicroplasticosRecursoHidrico.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15453/4/CorreaJefferson_2020_MicroplasticosRecursoHidrico.pdf). [Consultado 20-12-2022]

Pérez, M. A. A. (2020). *Determinación de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino Las Baulas*. Trabajo de Fin de Grado. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Disponible en:

[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12255/TFG\\_Angelica\\_Astorga\\_P%c3%a9rez.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12255/TFG_Angelica_Astorga_P%c3%a9rez.pdf?sequence=3&isAllowed=y) [Consultado 09-05-2023]

Roch, S., Friedrich, C., y Brinker, A. (2020). "Uptake routes of microplastics in fishes: practical and theoretical approaches to test existing theories". *Scientific Reports*, **10**(3896).

DOI: [10.1038/s41598-020-60630-1](https://doi.org/10.1038/s41598-020-60630-1) [Consultado 09-05-2023]

Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. y Teh. S.J. (2013). "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress". *Scientific reports*, **3**(3263). DOI: <https://doi.org/10.1038/srep03263> [Consultado 09-05-2023]

Rodolfo, E. (2015) "Mar de plástico: una revisión del plástico en el mar". *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)*, **27**, pp. 83-105. Disponible en: [https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/10964/RevINIDEP27\\_83.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/10964/RevINIDEP27_83.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Consultado 05-12-2022].

Smit, M. M. J. (2019). *Estudio de la ingesta de microplásticos en doradas expuestas a una dieta enriquecida con plásticos*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de las Islas Baleares. Disponible en: [https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150964/Julia\\_Mar%C3%ADa%20Micaela.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/150964/Julia_Mar%C3%ADa%20Micaela.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Consultado 04-12-2022]

Tierney, K.B., Farrel, A.P. y Brauner, C.J. (2014). "Organic Chemical Toxicology of Fishes". *Fish Physiology*, **33**. DOI: <https://doi.org/10.1086/681505> [Consultado 17-02-2023]

Vásquez-Molano, D., Molina, A. y Duque, G. (2021). "Distribución espacial y aumento a través del tiempo de microplásticos en sedimentos de la Bahía de Buenaventura, Pacífico Colombiano". *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, **50(1)**. DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.1.1021> [Consultado 21-05-2023]

Wang, W., Ge, J. y Yu, X. (2020). "Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review", *Ecotoxicology and environmental safety*, **189**, pp.5-10. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2019.109913](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913) [Consultado 20-05-2023]

Wright, S. L., Thompson, R. C. y Galloway, T. S. (2013) "The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review". *Environmental pollution*, **178**, pp. 483–492.

DOI: [10.1016/j.envpol.2013.02.031](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031) [Consultado 17-02-2023]

Xu, S. et al. (2020) "Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects". *The Science of the total environment*, **703**. pp. 134699.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134699 [Consultado 12-03-2023]

***Why are microplastics a problem - and what's the solution?*** (2018). Henkel. Disponible en: <https://www.henkel.com/spotlight/2018-10-25-why-are-microplastics-a-problem-and-what-s-the-solution-884352> [Consultado 21-05-2023]

Yin, L., Chen, B., Xia, B., Shi, X. y Qu, K. (2018). "Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobpever (*Sebastes schlegelii*)". ***Journal of Hazardous material***, **360**, pp. 97–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.110>

[Consultado 20-05-2023]