



**FACULTAD DE CIENCIAS**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**Efectos en la salud de los  
microplásticos**

Autor: Jesús Briones Román

Tutora: María Sandín Vázquez

2022

## Resumen

El uso de plásticos se ha multiplicado durante los últimos años debido a su facilidad para poder comercializar muchos productos utilizándolos. Su principal inconveniente radica en las tasas de reciclaje y en que su degradación en el medio ambiente es muy lenta. Al descomponerse, se forman los microplásticos, cuyo principal problema se encuentra en la contaminación de la atmósfera y de los océanos, pasando a los animales que reciben su daño de manera directa y esto tiene una repercusión muy seria en la salud pública debido a su consumo.

El objetivo principal de este TFG es estudiar los problemas que causan los microplásticos en la salud del ser humano debido a su consumo, exposición y su toxicidad. Como objetivos específicos del TFG, se revisará la literatura existente sobre microplásticos presentes en el agua, en el aire y en la dieta para, de esta manera, saber cómo afecta a la salud del ser humano. Para llevar a cabo este objetivo, se ha realizado una metodología de revisión sistemática.

Se han encontrado estudios en los que se evidencia que los microplásticos producen alteraciones en los seres vivos. Son capaces de introducirse en tejidos y órganos, causando daño celular, inflamaciones, estrés oxidativo e incluso respuestas inmunes localizadas a estas sustancias e incluso el deterioro de funciones vitales debido a su presencia en alimentos y bebidas.

Es necesario establecer un control más estricto para este tipo de contaminante, además de implementar medidas para reducir su presencia medioambiental y realizar más estudios para analizar sus daños en la salud.

**Palabras clave:** Plásticos; Microplásticos; Salud pública; Toxicidad; Contaminante.

## **Abstract**

The use of plastics has multiplied in recent years due to the ease with which many products can be marketed using them. Its main drawback lies in the recycling rates and the fact that its degradation in the environment is very slow. When decomposed, microplastics are formed, whose main problem is in the pollution of the atmosphere and the oceans, passing to the animals that receive their damage directly and this has a very serious impact on public health due to their consumption.

The main objective of this TFG is to study the problems caused by microplastics in human health due to their consumption, exposure and toxicity. As specific objectives of the TFG, the existing literature on microplastics present in water, in the air and in the diet will be reviewed in order to know how it affects human health. To carry out this objective, a systematic review methodology has been carried out.

Studies have been found in which it is evident that microplastics produce alterations in living beings. They are capable of entering tissues and organs, causing cell damage, inflammation, oxidative stress and even localized immune responses to these substances and even the deterioration of vital functions due to their presence in food and beverages.

It is necessary to establish a stricter control for this type of contaminant, in addition to implementing measures to reduce its environmental presence and carry out more studies to analyze its damage to health.

**Key words:** Plastics; Microplastics; Public Health; Toxicity; Pollutant.

# Índice

1. Introducción .....	1
1.1. Historia del plástico .....	1
1.2. Definición de plástico .....	3
1.2.1. Tipos de plástico.....	4
1.3. Definición de microplástico .....	5
1.4. Exposición del ser humano a los microplásticos .....	6
2. Objetivo del TFG .....	9
3. Materiales y métodos .....	9
3.1. Búsqueda y selección de artículos .....	10
3.2. Criterios de exclusión.....	11
4. Resultados.....	12
4.1. Microplásticos en el agua.....	12
4.2. Microplásticos en el aire.....	15
4.3. Microplásticos en la dieta.....	17
4.4. Efectos de los microplásticos en la salud humana.....	19
5. Discusión y conclusiones .....	24
6. Bibliografía.....	26
7. Anexos .....	33

## **1. Introducción**

Los plásticos, son materiales obtenidos artificialmente mediante una transformación química de sustancias de origen orgánico (como la celulosa, el carbón y el petróleo), es decir, son materiales sintéticos que no se encuentran de forma natural. Presentan gran versatilidad, maleabilidad al fundirlo y darle forma, resistencia y dureza, debido a esto es uno de los materiales más usados del mundo. Debido a su versatilidad, se pueden fabricar muchos tipos de plásticos con distintas formas para darles el uso que se deseen, como es el caso de ser recipientes de alimentos o bebidas, ser recipientes de otros objetos, usarlos de transporte, agricultura, ámbitos sanitarios, compuestos en electrodomésticos, etc. (PlasticsEurope, 2022).

Cuando estos plásticos se desechan y llegan a parar a determinados puntos (vertederos, océanos, ciudades, bosques, etc.), comienza el proceso de su degradación y es cuando empiezan a producirse lo que se denomina como, microplásticos. Para conocer los microplásticos, primero se debe conocer su origen para obtener el plástico del que provienen.

Desde hace mucho tiempo, el ser humano ha invertido su tiempo e inteligencia en desarrollar nuevas herramientas con las que mejorar su forma de vida. Una de las necesidades era tener recipiente resistentes y fáciles de fabricar, por ello la invención del plástico a partir de principios del S.XX fue una revolución que afectó a todos los sectores de la industria, puesto que es un material con unas propiedades que le hacen útil en la mayoría de los requerimientos en la vida diaria de las personas e incluso animales, sobre todo para animales domésticos (PlasticsEurope, 2022).

### **1.1. Historia del plástico**

El plástico, no es una invención del ser humano, puesto que ya se encontraba antes en la naturaleza de manera más simple, sólo que recibía, y recibe, el nombre de polímero. Estos polímeros naturales, han sido usados desde hace miles de años como las resinas o la goma para poder paliar las necesidades básicas del ser humano (Billmeyer, 1975).

Los polímeros más usados desde la antigüedad son el ámbar, la celulosa, los almidones, la resina... (García, 2009).

A pesar de contar con estos polímeros, se quiso investigar más en ellos y como se podrían crear o si era posible, más tipos de polímeros (mediante polimerización). Debido a esto, en el S. XIX, se descubrió el caucho, ebonita, etc. Estos materiales, fueron los predecesores de muchos más compuestos que incluso hoy día se siguen fabricando y usando.

Estos materiales que se usaban para diversas actividades, siguieron siendo investigadas y utilizadas hasta el punto de encontrar nuevos materiales que eran derivados de estos polímeros naturales. En el año 1828, un científico llamado Wöhler, logra realizar con éxito la primera reacción química orgánica mediante la urea y las investigaciones con el cianato de plata, obteniéndose la primera síntesis dentro de la química orgánica (García, 2009).

Años después, se logra avanzar en las investigaciones con la polimerización, dividiendo ésta en dos procesos diferentes por parte de los científicos Flory (1953) y Carothers (1940), llamados polimerización de condensación y polimerización de adición y así crear polímeros sintéticos y más grandes.

En la polimerización de condensación, la formación del polímero ocurre por la condensación de dos moléculas polifuncionales y de este modo se obtiene una aún mayor. En la polimerización por adición, un radical libre es capaz de abrir un monómero de vinilo y unirse a él, mientras que más monómeros se van uniendo a la cadena (Billmeyer, 1975).

Finalmente, en el año 1907 se descubre la baquelita de manos de Leo Baekeland (1863-1944) por el que obtuvo el Premio Nobel de Química. Con el descubrimiento de este compuesto, se da paso al primer plástico adquirido de manera artificial por el ser humano y el primero de una infinidad de plásticos, con el que se dieron paso a creaciones como teléfonos, radios, etc. (García, 2009). Este descubrimiento fue esencial para el avance de los materiales usados por las industrias para crear todo tipo de materiales, puesto que se podían obtener materiales mucho más resistentes y polivalentes que los que ofrecían los polímeros naturales.

Con el avance de las investigaciones se encontraron más métodos para obtener plásticos con mucha diversidad para aplicarlos a una variedad muy amplia de usos que el ser humano desea, debido a que siempre se necesitan nuevas formas de ofrecer consumismo y ofrecer la necesidad de tener esos ventajosos materiales (García, 2009).

## 1.2. Definición de plástico

El plástico (Figura 1), no es un material integrado por un único compuesto, sino que es un compuesto formado a partir de varios materiales de varias propiedades que se unen artificialmente para crear el plástico ideal para cada situación que se desee con el objetivo de aplicar su máxima eficiencia (PlasticsEurope, 2020).



**Figura 1.-** Tipos de Plástico: Polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU) y tereftalato de polietileno (PET). (Pascual, 2015).

Como se ha comentado anteriormente, los plásticos son materiales orgánicos que se producen a partir de combustibles fósiles así como de recursos de origen biológico. Los plásticos son materiales reciclables y se pueden volver a

dar uso una vez que se ha resuelto su objetivo primario para volver a ofrecer un servicio sin contaminar el medio ambiente.

Las materias fósiles principales de las que provienen los plásticos son el gas natural, el carbón y el petróleo, principalmente, aunque solamente entre el 4 y 6 % del petróleo está destinado a la producción de plástico (PlasticsEurope, 2020).

### 1.2.1 Tipos de plástico

Los plásticos (Figura 1) se obtienen mediante técnicas variadas y dependiendo de las técnicas empleadas se obtienen unos materiales u otros. Para conseguir determinados plásticos se emplean dos técnicas en las que los materiales obtenidos pueden ser de dos tipos (PlasticsEurope, 2020).

- Termoplásticos: Estos tipos de plásticos, pueden fundirse cuando han alcanzado una determinada temperatura (elevada) o endurecerse cuando han alcanzado una baja temperatura. Debido a estas características, estos tipos de plásticos son reversibles, es decir, se pueden recalentar nuevamente y moldear para después enfriarse. De este modo se obtienen muchos plásticos como por ejemplo, Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policloruro de vinilo (PVC), etc. (PlasticsEurope, 2020).
- Termoestables: Este tipo de plásticos no es posible moldearlos ni recalentarlos una vez que se han endurecido tras su enfriamiento, debido a que sufren una transformación química cuando han alcanzado una temperatura elevada. Algunos ejemplos de estos tipos de plásticos son el Poliuretano (PUR), Poliéster insaturado, la silicona, etc. (PlasticsEurope, 2020).

Una vez que se obtienen estos plásticos, se destinan a los comercios para dar uso a estos plásticos y una vez que los consumidores dan por finalizada su vida útil, comienza su desecho.

Se está trabajando actualmente para concienciar a la población de que los plásticos deben reciclarse para evitar su contaminación en el medio ambiente pero hay toneladas de plástico que no se recicla y va a parar a vertederos, mares, puntos terrestres con cúmulo de contaminación, etc. (Barnes et al.,



2009). La producción mundial de plásticos fue de 367 millones de toneladas en 2020 según estimó Eric Quenet, director de PlasticsEurope. Es aquí cuando comienza el verdadero problema con el plástico (PlasticsEurope, 2020).

Una vez desechados, se entierran aquellos que no tienen más de un uso posible en vertederos, pero en el caso de que no sean bien enterrados, pueden salir a la superficie y provocar contaminación.

Al producirse este efecto, algunos animales ingieren los plásticos al confundirlos con comida pero los que no son ingeridos se degradan por acción de los efectos naturales de la erosión y por efecto de la radiación ultravioleta.

Al producirse esta degradación, los plásticos disminuyen su tamaño hasta convertirse en materiales aún más pequeños denominados microplásticos.

### 1.3. Definición de microplástico

Los microplásticos (Anexo 1) son los productos residuales que quedan en el medio terrestre o acuático, una vez que los residuos plásticos han comenzado su degradación.

Como se ha comentado en el punto anterior, los plásticos, tienen una difícil degradación aunque en los últimos años, se ha avanzado mucho con el reciclaje de los productos plásticos para evitar la contaminación del medio ambiente y la producción de microplásticos y nanoplásticos (Bollaín & Vicente, 2019).

En la jornada que se celebró en 2008 titulada: First International Workshop on the occurrence effects and fate of microplastic marine debris, la cual fue organizada por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de Estados Unidos, se acordó que el límite de tamaño para considerar a un plástico como microplástico es de 5 mm. Si el tamaño varía entre 1 y 100 nm, se considera nanoplástico. Con tamaños superiores aún se considerarían plásticos (Bollaín & Vicente, 2019).

Al igual que en los tipos de plásticos, se puede considerar que existen dos tipos de microplásticos: Los microplásticos primarios y los microplásticos secundarios. Su clasificación está basada según del tipo de plástico del que provengan.

Los microplásticos primarios, han sido originados mediante plásticos que han sido elaborados manualmente o mediante materias primas con un tamaño menor a 5 mm, como por ejemplo pasta de dientes, geles de baño y productos similares.

En cambio, los microplásticos secundarios, han sido formados por la actividad erosiva que ha degradado al plástico que le precede. Es decir, pueden provenir por la acción erosiva del viento, degradación química, física o incluso microbiológica (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).

Los embalajes que son de plástico, las botellas y los envases de comida, son las principales fuentes de contaminación por microplásticos a nivel mundial (Fadare et al., 2020).

Las industrias, generan mucho contaminante en los recursos hídricos debido a sus producciones con plástico puesto que los envases fabricados que acaban en las aguas, se fragmentan hasta formar los microplásticos, encontrándose indicios de ello en el hielo ártico, Antártida y en muchas fosas marinas.

En la zona terrestre, se almacenan en puntos de basura, como vertederos, y en otras zonas, aumentando el riesgo de inundaciones (Luque, 2019).

Los microplásticos cuando se encuentran en los suelos se fragmentan y se obtienen de partículas plásticas de gran tamaño por diferentes factores físicos y químicos. Cuando comienzan a degradarse, tienden a asociarse con metales pesados y contaminantes orgánicos debido a su gran capacidad de adsorción, lo que representa una mayor amenaza para los ecosistemas del suelo (Ren et al., 2021) y por lo tanto también para el ser humano.

#### 1.4. Exposición del ser humano a los microplásticos

La causa principal de contaminación por microplásticos es la actividad humana, ya que debido a ella los residuos microplásticos se amontonan en los espacios terrestres y acuáticos, intoxicando el ambiente y los seres vivos que están en contacto directo o que los ingieren por equivocación (Bollaín & Vicente, 2019).

La mayor cantidad de contaminación debida a microplásticos se encuentra en los medios marinos debido a que la mayor parte de desechos plásticos acaban en mares y océanos. El porcentaje de contaminación por plástico en el mar, se determina en un 80% de los residuos plásticos provienen de tierra, mientras que solamente el 20 % restante provienen de la actividad marítima (Ballester et al., 2020).

Debido a esto la fauna acuática es la mayor afectada por ello debido a su contacto directo con los microplásticos que ingieren y por tanto se produce su intoxicación produciendo su muerte o su intoxicación a otras especies por depredación y a la salud pública debido al consumo de dicha fauna.

Diversos estudios, han demostrado que las vías principales de exposición a microplásticos en el organismo son por ingestión (alimentación y consumo de agua), inhalación e incluso el contacto dérmico (Anexo 2) (Thompson et al., 2009).

Mediante la ingestión, los alimentos que se consumen pueden estar contaminados por microplásticos debido a una exposición directa con el medio ambiente o por una transferencia de toxicidad mediante la cadena trófica de animales depredados a animales depredadores que estos son también consumidos por el ser humano y de este modo, causar enfermedades como el cáncer y efectos neurológicos (Van Cauwenberghe & Janssen, 2014).

Esto es debido, según investigaciones, a que cuando el contaminante está en el organismo, a través de la absorción, se produce la intoxicación en el tracto digestivo o en otros órganos a través de la inhalación y el contacto dérmico con el contaminante (Thompson et al., 2009).

A pesar de la contaminación en los ecosistemas con microplásticos, existen estudios en los que se investiga sobre la cantidad de microplásticos que hay en los alimentos y en las bebidas que se consumen. En el caso del consumo de bebidas, en el agua embotellada y agua potable de consumo, algunos estudios, sitúan el contenido de microplásticos en estas aguas de 2-3 partículas por litro. Estos valores son relativamente bajos para los valores umbrales que se encuentran en el RD 140/2003 y además organizaciones como la OMS,

defienden el consumo de agua potable y no es necesario un control exhaustivo sobre ellas (Galvín et al., 2019).

En análisis realizados en aguas del Océano Pacífico nororiental y la costa de la Columbia Británica, se analizaron datos con una concentración de 8–9200 partículas/m<sup>3</sup> con un 75 % de partículas representadas por fibras, afectando a muchos seres vivos, tanto para los seres de actividad marina, como terrestre (Desforges et al., 2014).

Debido a esto, especies marinas son contaminadas por microplásticos a lo largo de su vida hasta llegar al consumo humano y provocando problemas de salud, de hecho, se han encontrado microplásticos en sal marina. Se realizaron estudios en varias especies de bivalvos y se encontraron microplásticos tanto en *Mytilus edulis* (mejillón) como en *Crassostrea gigas* (ostras). Al obtener los resultados se obtuvieron los datos de “*Mytilus edulis*, que contenía una media de  $0,36 \pm 0,07$  partículas/g<sup>-1</sup> de tejido blando, en peso húmedo, en el momento del consumo (antes de proceder a su depuración). En cuanto a las ostras (*Crassostrea gigas*), localizadas en el Océano Atlántico, se ingiere una media de  $0,47 \pm 0,16$  partículas/g<sup>-1</sup> de tejido blando en peso húmedo” (Van Cauwenberghe & Janssen, 2014).

Algunos plásticos filtran, mediante fibras de microplásticos, sustancias químicas peligrosas con las que están fabricados al agua donde se encuentran. Algunos ejemplos de ello, son las mascarillas desechables que a raíz de la pandemia COVID-19 (fabricadas por polímeros como polipropileno, poliuretano, poliacrilonitrilo, poliestireno, policarbonato, polietileno o poliéster) que acaban en mares, ríos, zonas terrestres conservadas, etc. Por su composición, pueden degradarse y acabar formando microplásticos (Fadare & Okoffo, 2020).

Incluso al lavar la ropa, hasta 700.000 fibras de microplásticos son capaces de llegar a los océanos y mares siendo consumidos por la vida marina y acabar en la dieta (CENEAM, 2018).

Las fibras de microplásticos, debido a su pequeño tamaño, pueden ser arrastradas por el viento y además pueden caer desde la atmósfera mediante las precipitaciones. Mediante investigaciones, se ha podido comprobar que debido a las precipitaciones, hay fibras de microplásticos con una media de

entre 11 y 355 partículas/m<sup>2</sup>/día, en áreas urbanas, lo que supone una exposición directa al ser humano (Dris et al., 2016).

Debido a todos estos datos, es evidente que la fabricación masiva de plástico y su mala gestión en cuanto a sus residuos está creando efectos perjudiciales en la biodiversidad (creando malformaciones en algunas especies, estrategias reproductivas y problemas intestinales) y la exposición por su inhalación, ingestión o contacto, suponen un grave perjuicio para la salud pública.

## **2. Objetivo del TFG**

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado (TFG), es el de realizar un estudio de los efectos que causan los microplásticos en la salud del ser humano debido a su consumo, exposición y su toxicidad. Como objetivos específicos del TFG, se revisará la literatura existente sobre microplásticos presentes en el agua, en el aire y en la dieta.

## **3. Materiales y métodos**

Para poder realizar este TFG se ha llevado a cabo una revisión sistemática, que consiste en una revisión exhaustiva de la literatura basada en un protocolo, generalmente diseñada para responder una pregunta de investigación específica (Universidad de Navarra, 2022).

Esta revisión sistemática consiste en:

- Realizar una exploración de estudio en base a una pregunta planteada, en este caso, los efectos en la salud de los microplásticos.
- Efectuar una selección de documentos mediante una búsqueda sistemática de la investigación que se quiere resolver.
- Confirmar que esos documentos tienen validez y contrastación científica.
- Llevar a cabo un análisis e interpretación de los datos extraídos.
- Conclusión de los datos obtenidos aplicados al problema inicial.

Una vez que se han encontrado los estudios sobre el tema, se ha procedido a realizar el protocolo de exclusión o aceptación mediante la evaluación metodológica del artículo.

La revisión sistemática empleada tiene como objetivo investigar y confirmar evidencias sobre la influencia en la salud de los microplásticos con el fin de responder el problema planteado inicialmente.

Este análisis tiene la capacidad de poder confirmar evidencias entre los estudios seleccionados y también sus diferencias para así realizar el proceso de descarte de aquellos estudios que no cumplen con los requisitos deseados para resolver el problema descrito (Sobrido & Rumbo, 2018).

### 3.1. Búsqueda y selección de artículos

Para realizar la búsqueda de información referida al problema planteado, en primer lugar hay que tener claro el planteamiento del problema, formular el objetivo del trabajo de investigación y por último fundamentar el problema inicialmente planteado, es decir, que relevancia tiene dicho problema y justificar las razones por las que se llevan a cabo.

Para llevar a cabo esta parte del trabajo se ha procedido a la búsqueda de otros trabajos científicos en buscadores científicos que posean información de interés para la realización de este trabajo siempre respetando los derechos de autor y mencionando cada parte de la que se haya extraído algún dato a su autor correspondiente en el apartado de “Bibliografía”.

Para incluir los trabajos se eligieron aquellos que sean de carácter científico, con datos contrastados al ser publicados en revistas científicas y que fueran de acceso público.

Todos estos documentos encontrados han sido seleccionados a través de la metodología seguida mediante la revisión sistemática de estos artículos explicada anteriormente (Sobrido & Rumbo, 2018).

Los artículos seleccionados han sido encontrados mediante buscadores de artículos científicos de bases de datos como son las páginas de PubMed, Google Académico y Dialnet. La búsqueda de estos artículos científicos ha sido mediante la conexión de los temas sobre los microplásticos y la salud mediante el empleo de palabras clave mencionadas con anterioridad para poder encontrar los datos que se desean. En este caso las palabras de búsqueda han sido: “microplásticos”, “plásticos”, “historia de los plásticos”, “salud y microplásticos”, “bebidas y microplásticos”, “alimentos y microplásticos”, “dieta y microplásticos”, “toxicidad de los microplásticos”, “aire y microplásticos” “efectos de los microplásticos”, “fibras de microplásticos”, “microplastics and health”, “microplastics”, “seafood and microplásticos”, “water and microplastics”, “effects of microplastics”, “fibers of microplastics”.

El periodo de búsqueda de artículos, se ha centrado en artículos desde el año 2008 hasta el presente año 2022. Se eligió el 2008 porque en el borrador del Plan nacional de investigación de residuos (PNIR) publicado en 2007 pero modificado en octubre del 2008, el gobierno de España prohibía el uso de la bolsa de plástico no biodegradable a partir del 2010, lo que indica que a partir de ese año pudo haber un cambio en la cantidad de microplásticos ya que los gobiernos se dieron cuenta del peligro de los plásticos para la naturaleza y el ser humano iniciando medidas para reducir sus daños (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, 2007).

### 3.2. Criterios de exclusión

A continuación, se exponen los criterios de exclusión. Al realizar el análisis implementado por la revisión sistemática se excluyeron aquellos artículos los cuales no contaban con los requisitos para poder considerarse como documentos científicos válidos (originales, publicados en revistas científicas, con los criterios de autoría claros, etc.). Si el texto no estaba completo o no contenía las características adecuadas también fue descartado.

También fueron descartados aquellos artículos que se fundamentaban en otros tipos de conocimientos que no fueran de tipo químico, toxicológico, bioquímico o de ciencias de la salud. Los artículos y estudios de investigación que no fueran publicados en español o en inglés fueron descartados.

Los resultados que se exponen de acuerdo con las distintas afecciones por exposición a microplásticos, se ha incluido información relevante sobre cada una de ellas, así como de los posibles mecanismos de actuación de los contaminantes. Los datos que se han presentado en forma de tablas, indican los resultados que se han obtenido en diversos estudios experimentales que demuestran que los microplásticos crean afecciones al organismo de seres vivos tanto por su exposición como por su ingesta.

#### **4. Resultados**

Los microplásticos están esparcidos en todas las zonas del planeta, desde cualquier ecosistema hasta en el aire que se respira. Esta exposición continua a los microplásticos afecta a los ecosistemas terrestres, marinos y a cualquier especie animal que se vea expuesto a este contaminante y mediante las diversas vías de exposición, afectar al ser humano. Según los diversos estudios encontrados sobre los microplásticos y los objetivos de este TFG, este apartado se ha organizado exponiendo los estudios sobre el impacto de los microplásticos en el agua, aire (ya que suponen exposición humana) y dieta para finalizar con aquellos relacionados con los efectos sobre la salud del ser humano.

##### **4.1. Microplásticos en el agua**

La gran mayoría de plásticos son fabricados en la zona terrestre pero cuando son desechados, la mayoría acaba en los medios acuáticos del planeta. Los plásticos y microplásticos, son transportados por los ríos, aguas residuales, el viento, o a través de actividades humanas como las actividades de pesca, transporte marítimo o incluso el turismo llegando hasta los mares y océanos. Además, debido a las propiedades que poseen los materiales plásticos (resistencia, longevidad, etc.) los microplásticos son capaces de vagar por los mares y acumularse en los sedimentos.

Algunos estudios, estiman en unos 14 millones las toneladas de microplásticos acumulados en los primeros 9 - 10 cm de sedimentos de los fondos oceánicos del planeta (Ríos et al., 2020).



Un ejemplo de acumulación de basura en el océano es el Gran parche de basura del Pacífico aunque también se le conoce como el séptimo continente. Se trata de 1,6 millones de km<sup>2</sup> de 79 mil toneladas de basura plástica flotante de los cuales el 94 % son partículas microplásticas (Toussaint et al., 2019).

Los desechos plásticos, constituyen entre el 60 y el 80 % de todos los desechos marinos, los cuales provienen de procesos de fabricación, plantas de tratamiento de aguas residuales que desembocan en ríos y por tanto en estos ecosistemas acuáticos, agricultura, turismo, etc. (Zhang et al., 2017).

Estudios recientes también indican que otra de las fuentes de fibras y microplásticos más grandes de contaminación, provienen del lavado de la ropa, una de las principales formas de microplásticos primarios (Anexo 3). Mediante un estudio de Browne y colaboradores (2011), el cual trataba de una evaluación de microplásticos con sedimentos recolectados en playas de todo el mundo, descubrieron que las proporciones de poliéster y fibras acrílicas utilizadas en la ropa son similares a aquellos que se encuentran en hábitats que reciben descargas de aguas residuales y efluentes de aguas residuales (Browne et al., 2011; De Falco et al., 2019).

Otro de los aportes mayoritarios de fibras microplásticas a los medios acuáticos aparte de los que se desprenden por lavar la ropa, es el proveniente del desgaste de los neumáticos. Estos están fabricados con polímeros sintéticos, que con el desgaste se van convirtiendo en fibras y pasan a ser arrastradas por el agua de lluvia o los vientos a los cursos de agua o drenajes, alcanzando los mares, océanos y demás redes fluviales (Ríos et al., 2020).

En Alemania, se realizó un estudio para comprobar la afección microplástica en 40 m<sup>3</sup> de agua subterránea, utilizada como agua potable para un área de 7.500 km<sup>2</sup>. Los autores de esta investigación, analizaron las muestras de agua, en el momento de la toma y después de la purificación del agua, con el que se obtuvo un promedio de 0,7 microplásticos/m<sup>3</sup>, lo que supone una contaminación extremadamente baja y con una exposición humana insignificante a través del agua potable (Mintenig et al., 2019).

Existen presencias también de microplásticos en humedales como por ejemplo en el delta del humedal el río amarillo, situado en China. Se tomaron varios puntos de muestro y se recogieron en los 2 cm superiores de los perfiles del suelo. Más tarde se tomaron 3 muestras al azar y se transportaron al laboratorio. Se encontraron microplásticos en todas las muestras de suelo en el área de estudio, y las abundancias oscilaron entre 136 y 2060 partículas/kg, además se pudo comprobar que la influencia directa de las actividades humanas tiene una contribución mucho mayor que si se trata de una influencia indirecta de actividad por parte del ser humano (Duan et al., 2020).

En cuanto al agua de mares y océanos, aquí es dónde se encuentra el mayor problema con los microplásticos debido a su gran concentración y a las especies animales que afecta.

Los desechos plásticos y microplásticos, pueden transportarse a los océanos a través de diversas maneras como el transporte fluvial, el desbordamiento de aguas residuales, las actividades de ocio en las playas o en el mar e incluso a través del viento. Debido a su presencia, los microplásticos (partículas y fibras) también pueden ser ingeridos por la vida marina, causando obstrucción y daño físico en sus tractos digestivos y provocando la muerte de muchos de ellos, además de pasar a la cadena trófica.

En un estudio realizado en Escocia, los plásticos fragmentados representan casi el 70% de los microplásticos recuperados de la superficie del mar entre 2014 y 2020. Esto indica que los microplásticos en los mares provenían predominantemente de la descomposición de plásticos y la composición polimérica de los fragmentos analizados, de productos de consumo como bolsas, botellas y envases de alimentos (Russel & Webster, 2021).

En un estudio llevado a cabo por Santos y colaboradores (2021), en el que se procesaba a valorar los efectos de los microplásticos en las alteraciones del comportamiento en las larvas de pez cebra, se pudo comprobar que en embriones de pez cebra expuestos a más de 248 µg/L de Cu, tenían un comportamiento locomotor disfuncional, junto con defectos de desarrollo en la neurogénesis, miogénesis, mielinización de las células de Schwann e inhibición de la axonogénesis.

En definitiva, se pudo dictaminar que la afección de microplásticos en algunos animales, disminuye la supervivencia de las larvas, inhiben la eclosión y el crecimiento de las larvas, inducen neurotoxicidad y conducen a una hipoactividad y un patrón de natación desorganizado (en las larvas de pez cebrá).

Todos estos estudios demuestran que los microplásticos en el agua afectan a los organismos que habitan en ella, y por lo tanto a los que los consumen, incluyendo el ser humano (ver el resumen de todos los estudios en el Anexo 5).

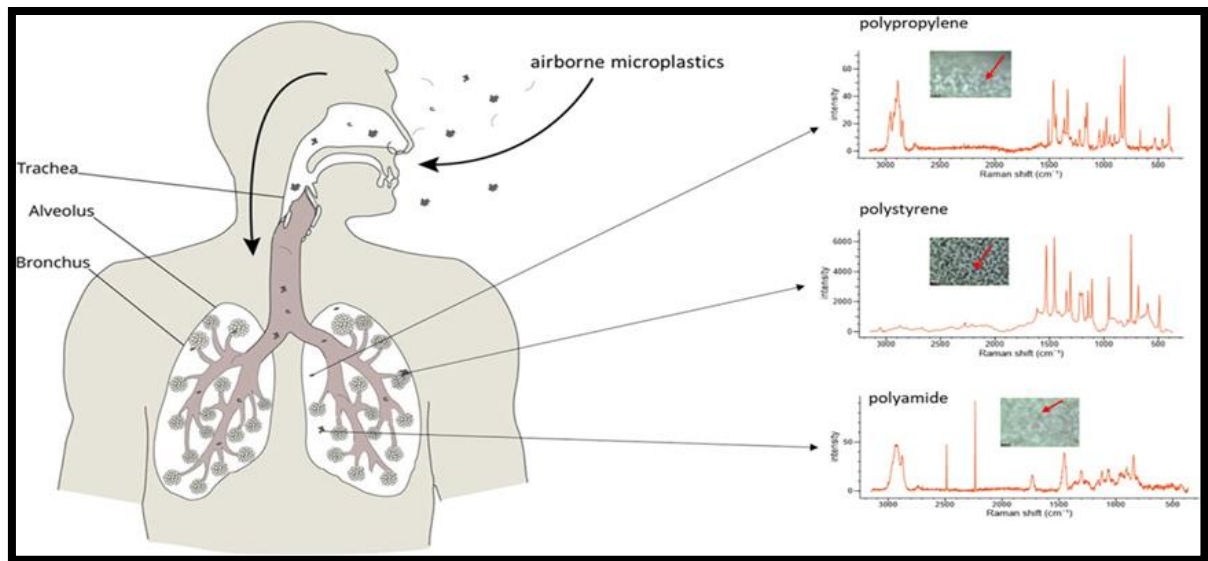
#### 4.2. Microplásticos en el aire

Los microplásticos están presentes en el aire, tanto en el exterior (medio ambiente) como en interiores. Debido a su pequeño tamaño, las fibras de microplásticos, pueden ser arrastradas por el viento y precipitar mediante la lluvia, con una media de entre 11 y 355 partículas/m<sup>2</sup>/día, en áreas urbanas (Dris et al., 2016).

Algunos estudios realizados en exteriores e interiores, han llegado a observar concentraciones de fibras de microplásticos en el aire libre de 0,3 - 1,5 fibras/m<sup>3</sup> y de 1- 60 fibras m<sup>3</sup> en interiores, con una tasa de deposición de fibras de entre 1.586 y 11.130 por metro y día (Dris et al., 2017).

Existen evidencias de que las mayores aportaciones de microplásticos primarios al aire son causados por caucho de neumáticos y polvo generado en las ciudades y se estima que un 7 % de la contaminación de los océanos proviene de microplásticos desplazados por el viento. Todo esto hace indicar que es muy probable que tanto el ser humano como los animales inhalen este tipo de contaminante generando graves problemas de salud y evidenciando que es un componente muy tóxico que no se debe ignorar (Prata, 2018).

Un experimento llevado a cabo por Amato-Lourenço y colaboradores (2021), demostró que existen presencias de microplásticos en los pulmones de las personas, encontrando polímeros de polietileno y polipropileno en su mayoría, pero también de otros tipos (Figura 2).



**Figura 2.-** Microplásticos en el tejido pulmonar. (Amato-Lourenço et al., 2021).

Se usó la espectroscopia Raman (Anexo 4) que es una herramienta analítica para los estudios de inclusión de fluidos que depende de factores como la resolución espectral y la longitud de onda del láser para el análisis de biomarcadores. Al finalizar el estudio, se encontraron sustancias poliméricas con diámetros menores a  $5\ \mu\text{m}$  y fibras microplásticas en más del 50% de los pulmones analizados con signos de meteorización y toxicológicamente, todas las partículas menores de  $10\ \mu\text{m}$  de diámetro tienen actividad biológica en individuos susceptibles.

Se estima que es probable inhalar 272 partículas microplásticas/día y se encontraron 470 partículas en los pulmones demostrando que existe un gran número de partículas microplásticas inhaladas y reteniéndose en las vías respiratorias causando problemas de salud (Amato-Lourenço et al., 2021).

De hecho, la contaminación del aire está asociada con la mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares, indicando una carga acumulada de contaminantes en el aire (Prata, 2018).

Se conoce que los microplásticos que se encuentran en el aire causan enfermedades en los trabajadores de las industrias como los de la industria textil. La mayoría de los estudios relacionan la inhalación de fibras sintéticas con síntomas respiratorios y las fibras sintéticas parecen tener una toxicidad menor o similar comparándolas con la inhalación de fibras textiles orgánicas. El

riesgo de cáncer puede aparecer de igual manera ante la exposición con fibras orgánicas que con fibras sintéticas (Prata, 2018).

Las partículas microplásticas de las que más conocimiento se tiene, son las de poliestireno, las cuales pueden extenderse a través del viento y afectar áreas amplias intoxicando a los seres vivos que las inhalen.

En un estudio llevado a cabo por Dong y colaboradores (2020), se pudo comprobar, mediante el uso de células BEAS-2B que son células epiteliales del tejido pulmonar, que algunas partículas como el poliestireno, pueden causar efectos citotóxicos e inflamatorios en estas células, causando también interrupción de las proteínas de unión intercelular en el pulmón. También pueden causar lesiones inflamatorias y oxidativas en las células anteriormente mencionadas (BEAS-2B).

#### 4.3. Microplásticos en la dieta

El impacto en la salud humana por consumo de micro y nanoplásticos puede proceder por su composición fisicoquímica y el daño tisular potencial que pueden causar, pero también del hecho de que pueden ser portadores de sustancias químicas potencialmente tóxicas (Toussaint et al., 2019).

Son numerosos los estudios que se centran cada vez más en la toxicidad que pueden tener los alimentos que consumen las personas. Según algunas investigaciones, los datos de niveles de microplásticos disponibles provienen, principalmente de animales marinos, de pescado, moluscos y crustáceos (Tabla 1) y también de otros alimentos no marinos como la sal de mesa, la miel y la cerveza (Tabla 2) e incluso del agua que se consume.

A pesar de todo esto, el consumidor no consume las zonas de los animales más contaminadas por microplásticos (estómago e intestinos) por lo que la contaminación con plásticos de estos tejidos no constituye una fuente de exposición dietética significativa para la población general (AESAN, 2019).

**Tabla 1.-** Presencia de microplásticos en alimentos de origen marino (AESAN, 2019).

Alimento	Contenido en microplásticos	Tamaño de partícula	Tipo de partícula	Polímeros encontrados	Localización	Fuente
Pescado: 26 especies	0,27 ± 0,63 partículas/pez	217-4810 µm	Fibras: 65,8 % Fragmentos: 34,2 %	PP, PE	Costa portuguesa	Neves et al. (2015)
Pescado: <i>Dicentrarchus labrax</i> <i>Diplodus vulgaris</i> <i>Platichthys flesus</i>	1,67 ± 0,27 partículas/pez	<1000-5000 µm	Fibras Fragmentos	PES, PP	Portugal, Estuario de Mondego	Bessa et al. (2018)
Pescado	2014: 1,73 ± 0,05 partículas/pez 2015: 1,64 ± 0,1 partículas/pez	<100-500 µm	Fragmentos: 78 % Fibras: 28 %	PVC, PP, PE, PES, PA	Mar Adriático	Pellini et al. (2018)
Moluscos <i>Mytilus edulis</i> <i>Crassostrea gigas</i>	0,36 ± 0,07 partículas/g w.w. 0,47 ± 0,16 partículas/g w.w.	5-25 µm	No especificado	No especificado	-	Cauwenberghe y Janssen (2014)
<i>Mytilus spp.</i>	3,0 ± 0,9 partículas/ g w.w. 3,2 ± 0,52 partículas/mejillón	No especificado	Fibras	No especificado	Costa de Escocia	Catarino et al. (2018)
Moluscos bivalvos <i>Crassostrea gigas</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Tapes philippinarum</i> <i>Patinopecten yessoensis</i>	0,15 ± 0,20 partículas/g 0,97 ± 0,74 partículas/individuo	43-4720 µm 65 % <300 µm	Fragmentos: 78 % Fibras: 23 %	PE, PP, PS, PES	Corea del Sur	Cho et al. (2019)
<i>Mytilus galloprovincialis</i> especies cultivadas y naturales	6,2-7,2 partículas/g w.w.	750-6000 µm (valores promedio 1150-2290 µm)	Filamentos	No especificado	Italia	Renzi et al. (2018)
<i>Crangon crangon</i>	0,68 ± 0,55 partículas/g w.w.	200-1000 µm	Fibras	No especificado	Aguas poco profundas del área del Canal y la parte sur del Mar del Norte	Devriese et al. (2015)

**Tabla 2.-** Presencia de plásticos en alimentos de origen no marino (AESAN, 2019).

Alimento	Contenido en microplásticos	Tamaño de partícula	Tipo de partícula	Polímeros encontrados	Localización	Fuente
Sal de mesa	50-280 partículas/kg	10-3500 µm	Fibras	PET, PP, PE	España	Iñiguez et al. (2017)
Sal marina Sal de roca Sal de lago	550-681 partículas/kg 7-204 partículas/kg 43-364 partículas/kg	45-4300 µm	Fragmentos Fibras Pellets	PE, PET, celofán	China	Yang et al. (2015)
Sal marina Sal de roca Sal de lago	0-1674 partículas/kg 0-148 partículas/kg 28-462 partículas/kg	47 % <50 µm 61 % <50 µm 55 % <50 µm	No especificado	PE, PET, PP	16 países/regiones en 6 continentes	Kim et al. (2018)
Sal marina	1,57-8,23 partículas/g	4-2100 µm	Fragmentos Fibras Gránulos Películas Espumas	No especificado	Italia	Renzi y Blašković (2018)
Sal marina	27,13-31,68 partículas/g	15-4628 µm	Fragmentos Fibras Gránulos Películas Espumas	No especificado	Croacia	Renzi y Blašković (2018)
Sal marina Sal de lago Sal de roca	16-84 partículas/kg 8-102 partículas/kg 9-16 partículas/kg	-	-	PE, PP	Turquía	Gündoğdu (2018)
Sal	0-10 partículas /kg	160-980 µm	Fragmentos: 63,8 % Filamentos: 25,6 % Películas: 10,6 %	PP, PE	Australia, Francia, Irán, Japón, Malasia, Nueva Zelanda, Portugal, Sudáfrica	Karami et al. (2017)
Sal de mesa	9,77 partículas/kg	1-1500 µm	Fragmentos: 93 % Fibras: 7 %	PP, PE, PS, PES, PEI, PET, POM	Taiwan	Lee et al. (2019)
Sal de mesa	Media 140,2 partículas/kg	-	-	PET, PP, PE	Mundial	Lee et al. (2019)
Sal	46,7-806 partículas/kg	100-5000 µm	Fibras Fragmentos	No especificado	Estados Unidos	Kosuth et al. (2018)
Miel	166 fibras/kg 9 fragmentos/kg	Fibras: 40-9000 µm Fragmentos: 10-20 µm	Fibras Fragmentos	No especificado	Alemania, Francia, Italia, España, México	Liebezeit y Liebezeit (2013)
Azúcar	217 fibras/kg 32 fragmentos/kg	No especificado	Fibras Fragmentos	No especificado	Mercado local Alemania	Liebezeit y Liebezeit (2013)
Cerveza	23 fibras/l 33 fragmentos/l 17 gránulos/l	No especificado	Fibras Fragmentos Gránulos	No especificado	Alemania	Liebezeit y Liebezeit (2014)
Cerveza	0-14,3 partículas/l	100-5000 µm	Fibras Fragmentos	No especificado	Estados Unidos	Kosuth et al. (2018)

En cuanto a los alimentos de origen no marino (Tabla 2), la sal de mesa fue analizada mediante un análisis de estudio en España, obteniéndose un contenido microplástico (en 21 muestras diferentes de sal de mesa comercial) de 50 - 280 partículas/kg de sal, siendo el polietileno-tereftalato (PET) el polímero más numeroso, junto con el polipropileno (PP) y el polietileno (PE) (Iñiguez et al., 2017).

El contenido medio de microplásticos que se analizó para la miel, fue de 166 fibras/kg y 9 fragmentos/kg. Para el azúcar, se obtuvieron 217 fibras/kg y 32 fragmentos/kg y para la cerveza, se obtuvieron datos de 25, 33 y 17 fibras, fragmentos y gránulos por litro (AESAN, 2019).

No solo ocurre con este tipo de alimentos, si no que mediante espectroscopia  $\mu$ FTIR, la cual consiste en medir los espectros producidos por los materiales cuando reaccionan a la radiación electromagnética o la emiten (con un límite de tamaño de 3  $\mu$ m), se pudieron descifrar compuestos de plásticos como PET y nailon, en bolsas de plástico que contienen las infusiones de té. Además, se han encontrado microplásticos en desechos humanos, afirmando así la contaminación oral por acción de microplásticos, con un tamaño de entre 50 y 500  $\mu$ m encontrando los tipos de microplásticos PP (63%) y PET (17%) como los más abundantes (no se analizaron microplásticos menores a 50  $\mu$ m, lo que pudo haber provocado un error en la estimación) (Sánchez et al., 2022).

Para poder concluir si los microplásticos que se consumen son tan perjudiciales para la salud, se necesitan más investigaciones puesto que aún se carecen de los datos necesarios para poder exponer una conclusión definitiva.

#### 4.4. Efectos de los microplásticos en la salud humana

Debido a la exposición continua a microplásticos, éstos pueden afectar al organismo por diferentes causas según sus rutas de exposición al individuo, ya sea por ingestión, inhalación o contacto dérmico (Anexo 2). Éstos pueden afectar por acción mecánica o por acción fisicoquímica e incluso por acción de los metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en combinación con los microplásticos.

Como se ha mencionado anteriormente, se han encontrado evidencias de que en el ambiente existen microplásticos que afectan a salud mediante su exposición tanto por aire como por contacto dérmico en el ser humano. A medida que se avanza con las investigaciones sobre ello, se demuestra que el ser humano está en continua exposición a microplásticos a través de la inhalación y de la ingesta de alimentos y bebidas embotelladas como se ha mencionado en el apartado 4.3. (Blackburn & Green, 2021).

En base a un estudio realizado por Talsness y colaboradores (2009), se observó que la mayoría de los efectos reproductivos no los ejercen los diésteres de ftalatos, sino sus metabolitos monoéster, los cuales se originan en el hígado y mediante ratas, se pudo comprobar que administrando dosis más altas en comparación a las que los humanos están expuestos normalmente, la exposición a ciertos ftalatos puede provocar trastornos graves del sistema reproductivo masculino en desarrollo.

Además, la presencia de estos ftalatos y otros aditivos pueden provocar, toxicidad, carcinogenicidad y mutagenicidad en el ser humano, ya que hay evidencias de estos compuestos en el polvo doméstico, la orina y la leche materna (Blackburn & Green, 2021).

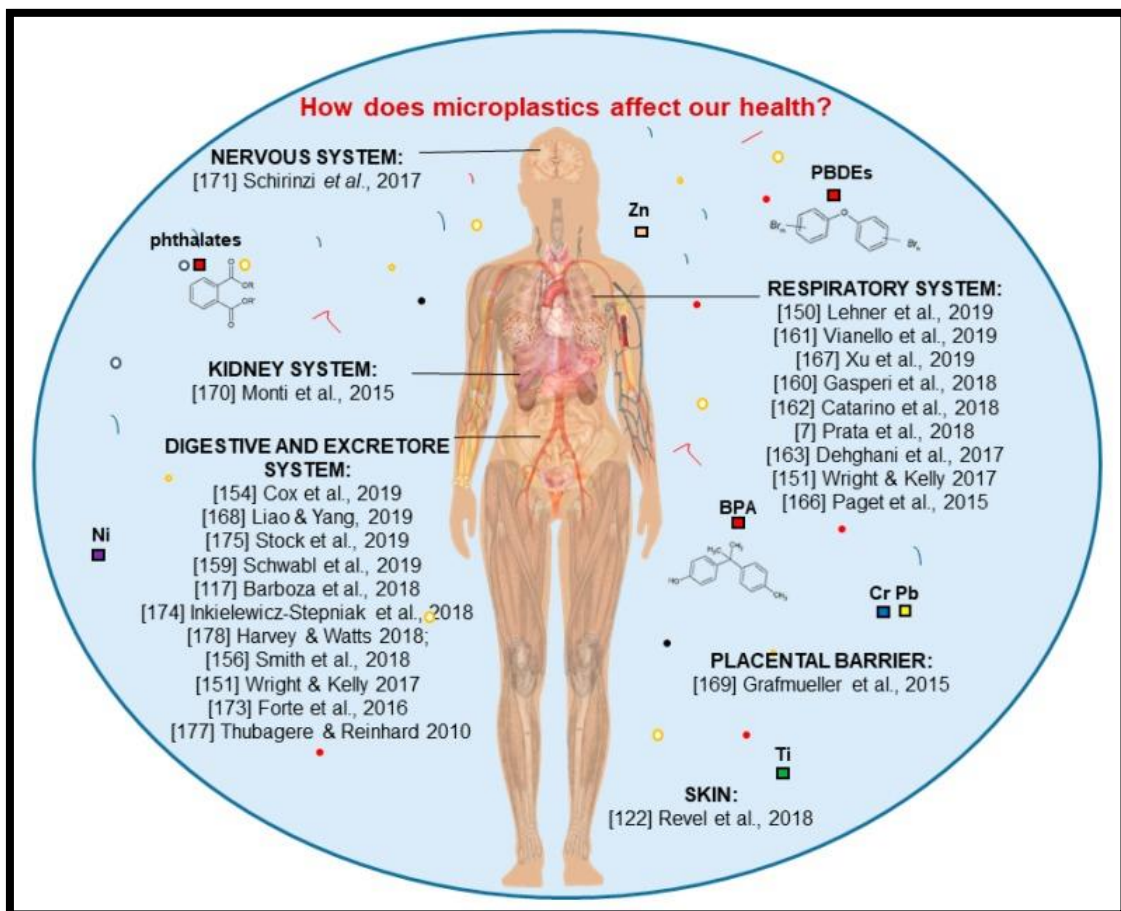
En los experimentos con ratones que se han realizado, se ha podido observar que existen problemas intestinales provocados por los efectos que causan los microplásticos y nanoplásticos en el organismo. En el caso de que esto pudiera ocurrir en seres humanos, la barrera intestinal-vascular podría verse afectada y las partículas de microplásticos podrían penetrar en la circulación, donde podrían acceder al hígado. La acumulación a largo plazo de partículas de microplásticos en el organismo y concretamente en los tejidos hepáticos, podrían provocar enfermedades hepáticas y problemas metabólicos (Yong et al., 2020).

La principal entrada de microplásticos al organismo se produce por la ingesta de alimentos como se ha explicado en el apartado 4.3. Por ejemplo, en estudios realizados con *Mytilus edulis* y *Mytilus galloprovincialis*, de cinco



países europeos, se ha encontrado que el número de microplásticos varía de 3 - 5 fibras por 10 g de mejillones examinados.

Las fibras de menos de 150 µm son capaces de atravesar la piel gastrointestinal e introducirse en el organismo a nivel sanguíneo y orgánico. Algunos científicos afirman que se espera que solo se absorba el 0,3 % de estas partículas, mientras que un porcentaje menor (0,1 %) que contiene partículas de más de 10 µm, debería ser capaz de llegar tanto a los órganos como a las membranas celulares y pasar a través de la sangre, barrera cerebral y placenta al feto en mujeres embarazadas, como se puede observar en el Anexo 6 (Campanale et al., 2020). Algunos ejemplos de los efectos que pueden ocasionar los microplásticos en la salud se pueden observar en la Figura 3.



**Figura 3.-** Recopilación de estudios científicos que muestran los efectos de los micro y nanoplásticos en la salud humana en los diversos sistemas del cuerpo humano. (Campanale et al., 2020).

En algunos animales como es el caso del mejillón azul (*Mytilus edulis*), se puede ingerir partículas de microplásticos que acaban en el intestino y luego acumularse en la cavidad digestiva y los túbulos.

El problema de las partículas microplásticas es que causan lesiones después de ingerir fragmentos de plástico, afectar el sistema digestivo, causar inanición e incluso daños fisiológicos que van desde estrés oxidativo hasta carcinogénesis (Wang et al., 2018).

Incluyendo los problemas intestinales y efectos que causan en el hígado los microplásticos, también se han encontrado pruebas de que las enfermedades renales (en ocasiones) están ligadas a problemas derivados de microplásticos.

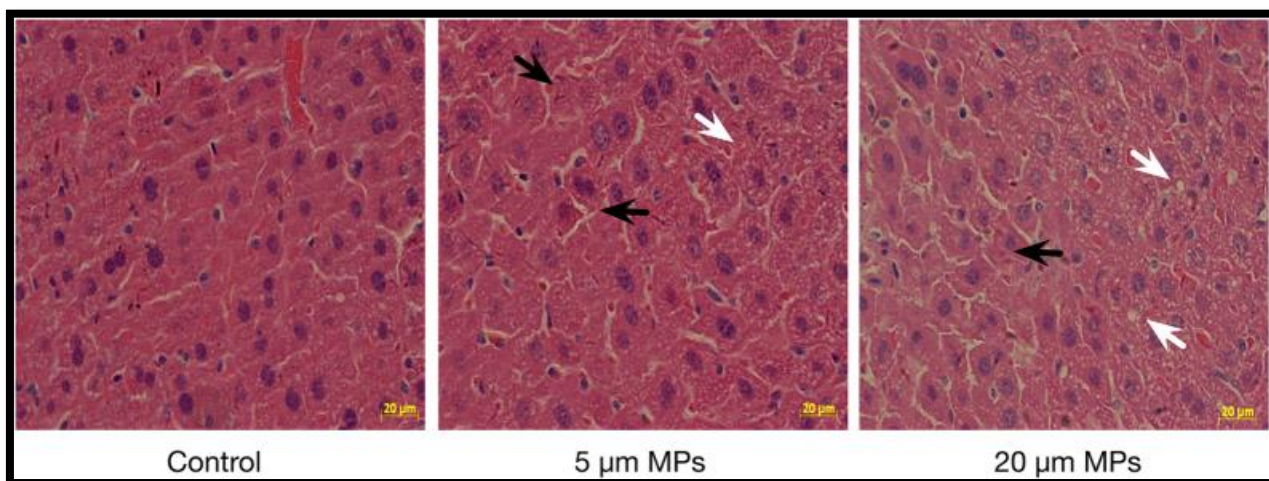
El poliestireno, por ejemplo, causa respuestas en el organismo como es el estrés oxidativo y por eso en un estudio llevado a cabo por Wang y colaboradores (2021), se evaluaron estos tipos de microplásticos en las células epiteliales tubulares proximales pertenecientes a un riñón humano y en ratones macho. Estas células son las células HK-2 en el ser humano y C57BL/6 macho analizando el oxígeno reactivo mitocondrial, estrés del retículo endoplásmico y la inflamación provocada en la autofagia de las células renales, puesto que hay evidencias en estudios anteriores de estos problemas hepáticos y renales en ratones, como se demuestra en la Figura 4 (Deng et al., 2017).

Para poder realizar el ensayo, a los ratones se les administraron por vía oral el compuesto microplástico y para las células humanas, se tiñeron dichas células con un compuesto fluorescente para su posterior revisión. Tras los ensayos, se pudo comprobar que las células HK-2 presentaban mayor estrés del retículo endoplásmico y mayor inflamación en la autofagia de las células renales.

Además algunas células, presentaban niveles altos de diversas proteínas debido a la derivación de la presencia del poliestireno, siendo estas proteínas: LC3, Beclin 1 y proteínas quinasa mediante cambios de fosforilación.

En los ratones expuestos, tenían más lesiones histopatológicas en los riñones y niveles más altos de estrés del retículo endoplásmico, marcadores inflamatorios y proteínas relacionadas con la autofagia en los riñones.

En base a estos resultados, se concluye que la exposición a largo plazo de estos microplásticos, puede ser un factor de riesgo para la salud renal y para la fuga de proteínas (Wang et al., 2021).



**Figura 4.-** Partes del hígado de ratones teñidas con hematoxilina y eosina expuestos durante 4 semanas a 0,5 mg/día de poliestireno. (Deng et al., 2017).

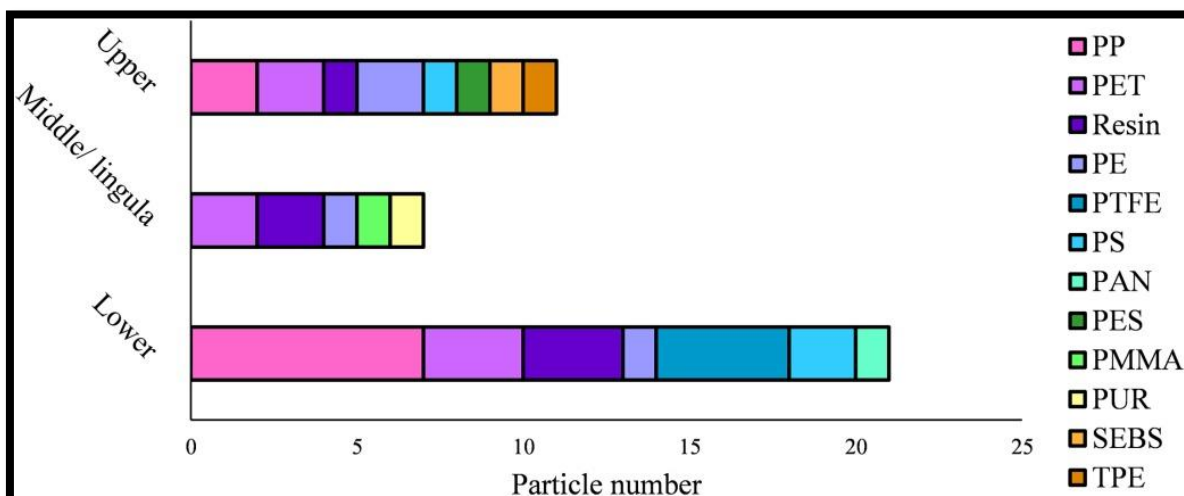
En cuanto a la vía dérmica, es la vía de entrada de microplásticos al organismo menos estudiada, pero se sabe que las actuaciones quirúrgicas que utilizan poliéster trenzado y polipropileno monofilamento dan como resultado una reacción inflamatoria más baja que la seda y la encapsulación fibrosa, después de 21 días de la actuación.

En experimentos con ratones con discos de plástico (<10 mm), después de 98 días, los discos inducían la encapsulación con una pequeña inflamación, mientras que el cloruro de polivinilo que contenía organoestaño plastificante, inducía la encapsulación con infiltrado inflamatorio, degeneración y necrosis moderadas debido a su toxicidad en el organismo vivo (Prata et al., 2020).

En investigaciones relacionadas con la presencia de microplásticos en el tejido pulmonar, un estudio llevado a cabo por Jenner y colaboradores (2022), se utilizó espectroscopia  $\mu$ FTIR. Se obtuvo tejido pulmonar del lóbulo superior medio e inferior de 11 pacientes tras operaciones quirúrgicas en distintos hospitales.

Se obtuvieron como resultados, de los lóbulos superiores ( $0,80 \pm 0,96$  microplástico /g), medio ( $0,41 \pm 0,37$  microplástico/g) y en los inferiores ( $3,12 \pm 1,30$  microplástico /g) (Figura 5). Los resultados obtenidos, demuestran que la

inhalación es una ruta por la que los microplásticos en el aire pueden penetrar en el organismo, permitiendo determinar posibles impactos en la salud.



**Figura 5.-** Número de partículas y tipo de polímero identificados en muestras de tejido pulmonar humano. (Jenner et al., 2022).

A pesar de todos estos estudios aportados, se deben realizar más investigaciones sobre estas vías y sobre los efectos que pueden producir los microplásticos en el organismo para poder evitar posibles enfermedades difíciles de erradicar.

## **5. Discusión y conclusiones**

Con cada investigación sobre microplásticos publicada, se demuestra que tanto el medio ambiente, como los animales y por ello, el ser humano, se ven afectados por los plásticos y microplásticos causando graves problemas en la salud. Cada vez hay más fabricación de plástico y además no se recicla debidamente, haciendo que exista más contaminación en la naturaleza y favoreciendo su degradación (que además es muy lenta).

La presencia de microplásticos en el aire, el agua y las especies animales que los ingieren, hace que la exposición de este contaminante en el ser humano, se produzca a través de las diferentes vías de exposición. Se puede comprobar que en las investigaciones donde se han realizado experimentos o se han revisado documentos que los han realizado indican que la ingestión de microplásticos podría causar daño al organismo, mediante daño físico

(inflamación, estrés oxidativo, etc.) o por daños químicos (adsorción de sustancias y daños hormonales afectando a la reproducción y desarrollo). Múltiples estudios demuestran daños en los diversos sistemas del ser humano (nervioso, digestivo, excretor, respiratorio, barrera placentaria, etc.).

A pesar de todo el conocimiento que se tiene de los efectos que pueden causar los microplásticos y sus compuestos en el organismo todavía se desconocen muchas de las implicaciones que tienen en el cuerpo y la relación que tienen con diversas enfermedades y se debería investigar más centrándose en las respuestas inmunitarias, el daño celular, su relación con los cánceres, etc., así como investigar las concentraciones que reflejen de manera realista la exposición ambiental del ser humano a dichos microplásticos y los efectos relacionados.

También se debe focalizar más las investigaciones relevantes a si los plásticos y microplásticos pueden estar conectados con compuestos tóxicos (como metales pesados) y que afecten a los seres vivos esclareciendo sobre si se introducen al organismo mediante los alimentos, las bebidas (principalmente el agua) y el aire, puesto que es posible que los compuestos plásticos, en su proceso de degradación a microplásticos, cambien sus propiedades (como adsorción y absorción) y la concentración de sus contaminantes cambie haciéndolos aún más peligrosos.

Otra conclusión basada en los estudios que se han llevado a cabo sobre este problema, es que es necesario que se regule la legislación sobre plásticos y microplásticos, ya que son un importante problema emergente para la salud pública.

Debido a todo esto, es necesario profundizar más en investigaciones sobre los microplásticos ya que son compuestos prácticamente invisibles y que se encuentran en todos los ámbitos de la naturaleza pudiendo además introducirse en todos los organismos (pasando de unos a otros por cadena trófica) en sus tejidos y órganos y aún no se conocen las concentraciones reales de microplásticos inhalados e ingeridos que se acumulan en el cuerpo humano y no se disponen de datos empíricos claros sobre sus posibles efectos tanto en el ser humano como en los animales.

## **6. Bibliografía**

- AESAN (2019). *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la presencia y la seguridad de los plásticos como contaminantes en los alimentos*. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Disponible en: [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/evaluacion\\_riesgos/informes\\_comite/PLASTICOS\\_ALIMENTOS.pdf](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/PLASTICOS_ALIMENTOS.pdf) [Consultado: 16-06-2022].
- Amato-Lourenço, L., Carvalho-Oliveira, R., Ribeiro, G., Dos Santos, L., Augusto, R. & Mauad, T. (2021). *Presence of airborne microplastics in human lung tissue*. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 416, 126124. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>
- Ávila, C. (2021). *Rayos UV alteran la estructura molecular de microplásticos en el mar*. *Tendenciascyt*. <https://tendenciascyt.com/2021/09/13/rayos-uv-alteran-la-estructura-molecular-de-microplasticos-en-el-mar/#:~:text=Rayos%20UV%20alteran%20la%20estructura%20molecular%20de%20micropl%C3%A1sticos%20en%20el%20mar.,-13%20de%20septiembre&text=Los%20pl%C3%A1sticos%20como%20el%20polietileno,se%20componen%20de%20este%20pol%C3%ADmero.> [Consultado: 12-04-2022].
- Ballester, L., Arnal, J.M., García, B. & Sancho, M. (2020). *Diseño de una instalación para la recogida de residuos plásticos en mares y océanos*. 24th International Congress on Project Management and Engineering Alcoi. [http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2495/AT04-015\\_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2495/AT04-015_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Barnes, D., Galgani, R., Thompson, R. & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Volume 364(1526), 1985-1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los Polímeros*. Editorial Reverté, S.A. <https://books.google.es/books?id=Fe0FEAAAQBAJ&printsec=frontcover>

<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>  
<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>

- Blackburn, K. & Green, D. (2021). *The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown*. *Ambio* Volume 51, 518–530. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>
- Bollaín, C & Vicente, D. (2019). *Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública*. *Revista Española de Salud Pública*. Volumen 93. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012)
- Browne, MA., Crump, P., Niven, S., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. & Thompson, R. (2011). *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks*. *Environmental Science & Technology* 45(21): 9175-9. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es201811s>
- Campanale, C., Masarrelli, C., Savino, I., Locaputo, V. & Urichio, V., F. (2020). *A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health*. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Carbery, M., O'Connor, W. & Palanisami, T. (2018). *Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health*. *Environment International*. Volume 115: 400-409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
- CENEAM (2018). *Un tercio de los microplásticos en los océanos procede de lavar ropa*. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/microplasticos-oceanos-ropa.aspx#:~:text=Un%20tercio%20de%20los%20micropl%C3%A1sticos%20en%20los%20oc%C3%A9anos%20procede%20de%20lavar%20ropa,-icono%20barra%20herramientas&text=Cada%20vez%20que%20una%20prenda,pudiendo%20terminar%20en%20nuestros%20platos>  
[Consultado: 03-06-2022].

- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. & Avella, M. (2019). *The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution*. Scientific reports 9, Article number: 6633. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
- De la Torre, G.E. (2020). *Microplastics: an emerging threat to food security and human health*. Journal of Food Science and Technology volume 57, 1601-1608. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B. & Ren, H. (2017). *Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure*. Scientific Reports volume 7, Article number: 46687. <https://doi.org/10.1038/srep46687>
- Desforges, J-P., Galbraith, M., Dangerfield, N. & Ross, P. (2014). *Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean*. Marine Pollution Bulletin. Volume 79, Issues 1-2, 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>
- Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (2007). *Plan Nacional Integrado de Residuos, 2008-2015 (PNIR). Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA)*. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Disponible en: [http://www.cepcos.es/Uploads/docs/ISA\\_PNIR\\_26\\_11\\_2007.pdf](http://www.cepcos.es/Uploads/docs/ISA_PNIR_26_11_2007.pdf)  
[Consultado: 02/09/2022].
- Dong, C-D., Chen, C-W., Chen, Y-C., Chen, H-H., Lee, J-S. & Lin, C-H. (2020). *Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment*. Journal of Hazardous Materials. Volume 385, 121575. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121575>
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mitnade, C., Tassin, B. (2016). *Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?* Marine Pollution Bulletin. Volume 104, Issues 1-2, 290-293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V. & Tassin, B. (2017). *A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments*. Environmental Pollution. Volume 221; 453-458. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>



- Duan, Z., Zhao, S., Zaho, L., Duan, X., Xie, S., Zhang, H., Liu, Y., Peng, Y., Liu, C. & Wang, L. (2020). *Microplastics in Yellow River Delta wetland: Occurrence, characteristics, human influences, and marker*. *Environmental Pollution*. Volume 258, 113232. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113232>
- Fadare, O.O., Wan B., Guo L., Zhao L. (2020). *Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it?* *Chemosphere*. Volume 253, 126787. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126787>
- Fadare, O.O. & Okoffo, E. (2020). *Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment*. *Science of The Total Environment*. Volume 73, 140279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>
- Galvín, R., Rosado, A., Paraira, M., Carranza, I., Jiménez, J., Pérez-Baroja, I., Parra, M., Borrego, M., Pérez, R. & Lacorte, S. (2019). *TECNOAQUA. Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano*. Volumen 36. <https://www.tecnoaqua.es/kiosco/revista36>
- García, S. (2009). *Referencias históricas y Evolución de los plásticos*. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 10(1). Historia de los polímeros. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2009-garcia.pdf>
- Huang, W. Et al. (2021). *Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health*. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 405, 124187. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124187>
- Iñiguez, M., Conesa, J. & Fullana, A. (2017). *Microplastics in Spanish Table Salt*. *Scientific Reports* volume 7, Article number: 8620. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x>
- Jenner, L., Rotchel, J., Bennet, R., Cowen, M., Tentzeris, V & Sadofsky, L. (2022). *Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy*. *Science of The Total Environment*. Volume 831, 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- Luque, A. (2019). *Implicaciones ambientales derivadas del petróleo: Caso del agua embotellada*. *Revista Interdisciplinaria de Humanidades*,

- Educación, Ciencia y Tecnología. Volumen 5 Número 9 (5).  
<https://doi.org/10.35381/cm.v5i9.144>
- Mintenig S.M., Löder M.G.J., Primpke S. & Gerdt G. (2019). *Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources*. Science of The Total Environment. Volume 648, 631-635.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>
- Pascual, E. (2015). *Clasificación de plásticos*. ELBLOGVERDE.COM. Disponible en: <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/clasificacion-de-plasticos/> [Consultado: 17-05-2022].
- PlasticsEurope (2020). *Plásticos-Situación en 2020. Un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa*. PlasticsEurope. Productos de materias plásticas.  
[https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES\\_Plastics\\_the\\_facts-WEB-2020\\_May21\\_final\\_updatedJuly2021.pdf](https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf)
- PlasticsEurope (2022). *Acerca de los plásticos*. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es> [Consultado: 15-02-2022].
- Prata, J.C. (2018). *Airborne microplastics: Consequences to human health?* Environmental Pollution. Volume 234; 115-126.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>
- Prata, J.C., P. da Costa, J., Lopes, I., Duarte, A. & Rocha-Santos, T. (2020). *Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects*. Science of The Total Environment. Volume 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- RECEO (2020). *Microplásticos: su impacto en la degradación del medio ambiente*. Disponible en: <https://gestorderesiduosmadrid.es/microplasticos-impacto-la-degradacion-del-medio-ambiente/> [Consultado: 21-06-2022].
- Ren, Z., Gui, X., Xu, X., Zhao, L., Qiu, H. & Cao, X. (2021). *Microplastics in the soil-groundwater environment: Aging, migration, and co-transport of contaminants – A critical review*. Journal of Hazardous Materials. Volume 419, 126455. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126455>
- Ríos, M., Márquez, F., Gatti, M., Galván, D., Bravo, G., Bigatti, G., & Brogger, M. (2020). *Microplásticos: Macroproblemas*. Residuos plásticos en

Argentina. Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. ANCEFN. Publicaciones científicas n° 16. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/129919/CONICET\\_Digital\\_Nro.4888d95c-638c-482d-badc-3789e2e67940\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/129919/CONICET_Digital_Nro.4888d95c-638c-482d-badc-3789e2e67940_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Russel, M. & Webster, L. (2021). *Microplastics in sea surface waters around Scotland*. Marine Pollution Bulletin. Volume 166, 112210. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112210>
- Sánchez, A., Rodríguez-Viso, P., Domene, A., Orozco, H., Vélez, D. & Devesa, V. (2022). *Dietary microplastics: Occurrence, exposure and health implications*. Environmental Research. Volume 212, Part A, 113150. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113150>
- Santos, D., Luzio, A., Matos, C., Bellas, J., Monteiro, S. & Félix, L. (2021). *Microplastics alone or co-exposed with copper induce neurotoxicity and behavioral alterations on zebrafish larvae after a subchronic exposure*. Aquatic Toxicology. Volume 235, 105814. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105814>
- Sarria-Villa, R.A. & Gallo-Corredor, J.A. (2016). *La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos*. Journal de Ciencia e Ingeniería, Vol. 8, No. 1. 21-27. <http://jci.uniautonomo.edu.co/2016/2016-3.pdf>
- Sobrido, M. & Rumbo, JM. (2018). *La revisión sistemática: pluralidad de enfoques y metodologías*. Enfermería clínica. 28(6):387-393. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2018.08.008>
- Talsness, C., Andrade, A., Kuriyama, S., Taylor J. & vom Saal, F. (2009). *Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health*. Philosophical Transactions of the Royal Society B. Volume 364; 2079-2096. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0281>
- Thompson, R.C. et al. (2009). *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends*. Philosophical Transactions of the Royal Society B. Volume 364(1526):2153-66. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria, I. & Van den Ede, G. (2019). *Review of micro- and*

*nanoplastic contamination in the food chain*. Food Additives & Contaminants: Part A, Volume 36.

<https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1583381>

Universidad de Navarra (2022). *Revisiones sistemáticas: ¿Qué es una Revisión Sistemática?* Disponible en:

<https://biblioguias.unav.edu/revisionessistematicas/que-es-una-revision-sistemica> [Consultado 27-07-2022].

Van Cauwenberghe, L. & Janssen, C.R. (2014). *Microplastics in bivalves cultured for human consumption*. Environmental Pollution. Volume 193, 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>

Wang, F., Wong, C., Chen, D., Lu, X., Wang, F. & Zeng, E. (2018). *Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review*. Water Research, Volume 139, 208-219. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.003>

Wang, YL., Lee, YH., Hsu, YH., Chiu, IJ., Huang, CCY., Huang, CC., Chia, ZC., Lee, CP., Lin, YF. & Chiu, HW. (2021). *The Kidney-Related Effects of Polystyrene Microplastics on Human Kidney Proximal Tubular Epithelial Cells HK-2 and Male C57BL/6 Mice*. Environmental Health Perspectives. Volume 129(5): 057003. <https://doi.org/10.1289/EHP7612>

Yong, CQY., Valitaveetil, S. & Tang, BL. (2020). *Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Volume 17(5): 1509. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051509>

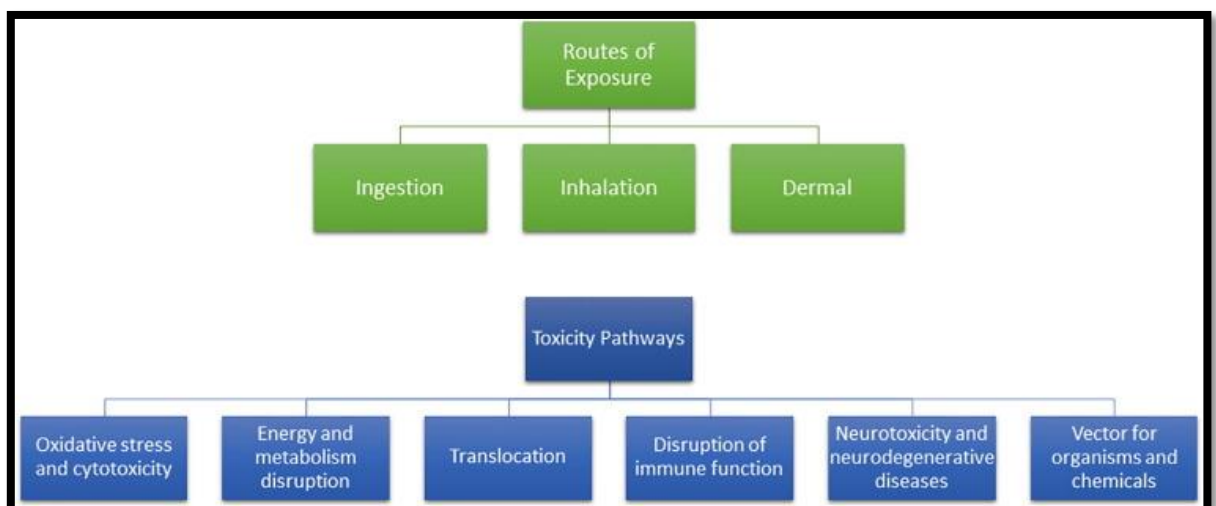
Zhang C., Chen X., Wang J. & Tan L. (2017). *Toxic effects of microplastic on marine microalgae Skeletonema costatum: Interactions between microplastic and algae*. Environmental Pollution Volume 220, Part B, 1282-1288. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.005>

## 7. Anexos

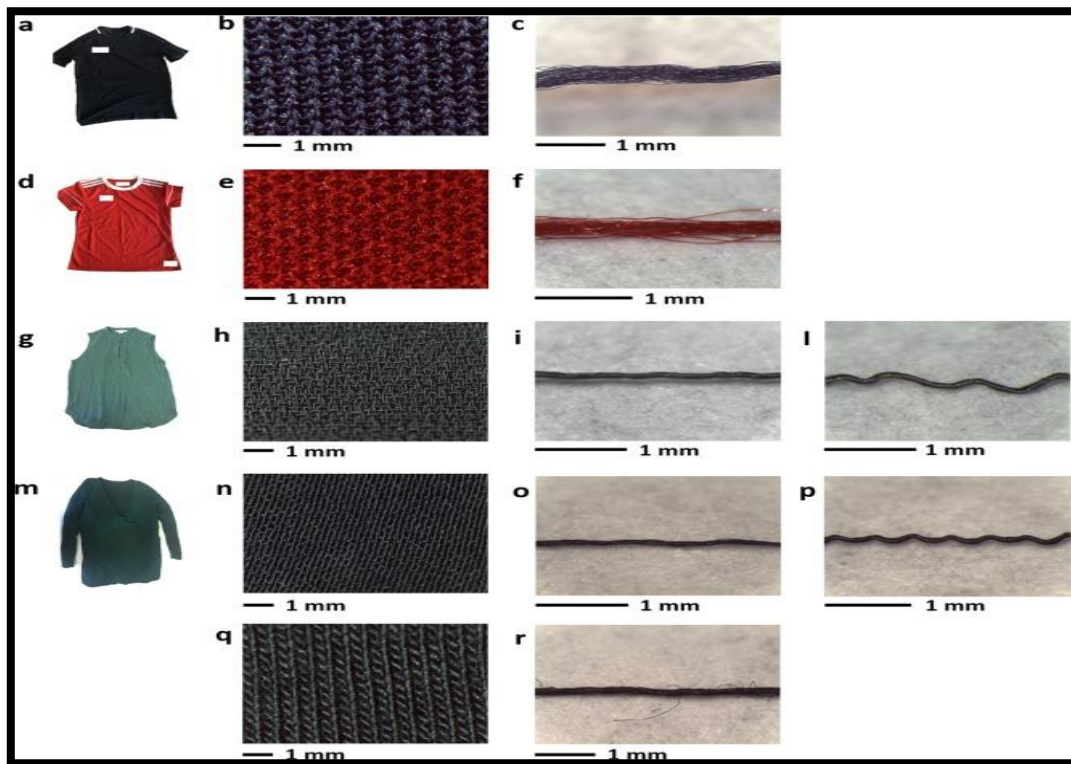
**Anexo 1.-** Microplásticos. (RECEO, 2020).



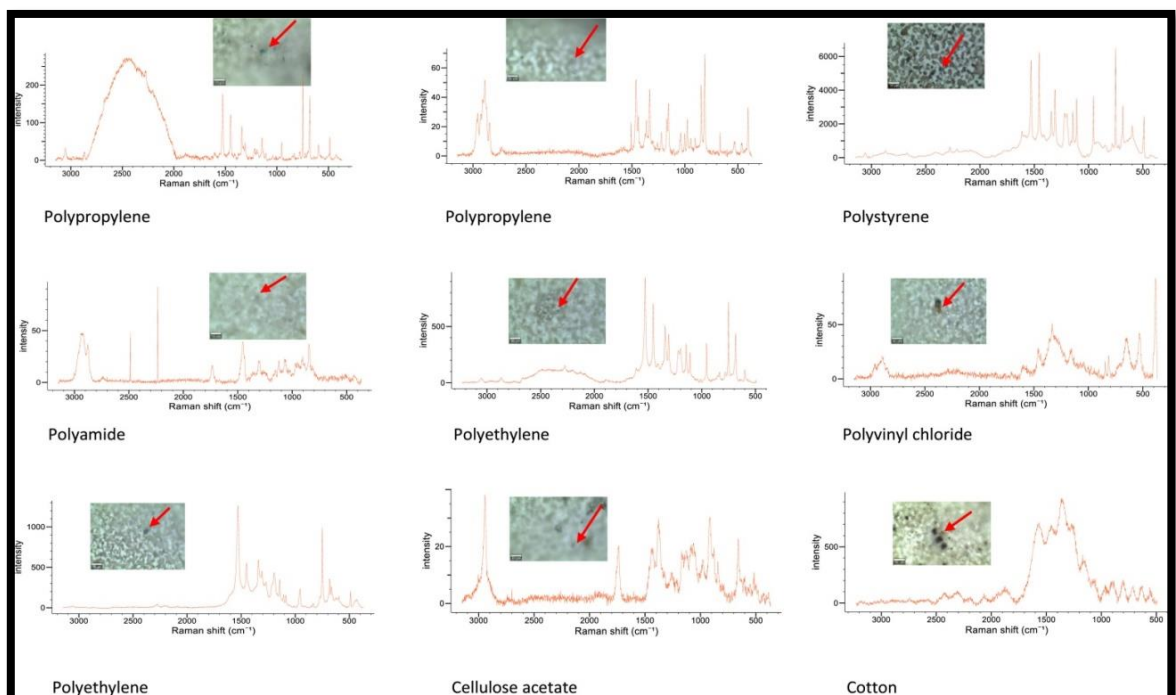
**Anexo 2.-** Rutas de exposición y vías de toxicidad por microplásticos en el cuerpo humano. (Prata et al., 2020).



**Anexo 3.-** Imágenes de ropa de distintos materiales plásticos (a, d, g y m) y sus respectivas micrografías ópticas. (De Falco et al., 2019).



**Anexo 4.-** Espectro Raman y fotografías de los principales microplásticos localizados en los tejidos pulmonares. (Amato-Lourenço et al., 2021).



## Anexo 5.- Estudios que relacionan la contaminación del agua por microplásticos

Autor, año, país	Tipo de estudio y objetivo	Sujetos y origen	Medida de resultados	Conclusión y/o limitaciones
Mintenig et al., 2019. Alemania	Experimental. Identificación de microplásticos en grandes volúmenes de agua potable derivados de la depuración de aguas subterráneas.	Pozos de agua subterránea y agua potable de grifos domésticos convencionales para evaluar si se produciría una contaminación con microplásticos y dónde sería. Origen: Varias ciudades de Alemania.	Las muestras revelaron la presencia de contaminación en el agua con partículas y fibras microplásticas. Se identificaron cinco tipos diferentes de polímeros en muestras de agua cruda y agua potable. El 62 % de las partículas eran de poliéster, de PVC 14 %, PA y resina epoxi (ambos 9 %), y PE 6 % con un rango de tamaño de 50 a 150 $\mu\text{m}$ . Se detectaron entre 3 y 46 fibras $\text{m}^{-3}$ en las muestras de agua cruda y agua potable con un promedio de 45 fibras en las muestras en blanco.	Se usaron 40 $\text{m}^3$ de agua cruda y agua potable, provenientes exclusivamente de aguas subterráneas, resultando concentraciones de 0 a 7 partículas microplásticas por $\text{m}^3$ . Lo que indica una baja contaminación por microplásticos. Se puede saber que las partículas microplásticas detectadas, indican que el agua potable no estaba contaminada con fibras, sino que estas se introdujeron durante el manejo de la muestra.
Duan et al., 2020. China	Experimental. Investigación de la distribución de microplásticos y la contribución de las actividades humanas en diferentes áreas del humedal del delta del río Amarillo y conocer la relación entre los diferentes factores relacionados con los microplásticos y la búsqueda de un marcador apropiado para los microplásticos.	Muestras de los 2 cm superiores del suelo del humedal del delta del río Amarillo en Shandong, China, entre los días 26 y 31 de octubre de 2018. Se seleccionaron las muestras, se mezclaron y se transportaron al laboratorio.	Se encontraron presencia de microplásticos en todas las muestras de suelo en el área de estudio y las partículas encontradas oscilaron entre 136 y 2060 artículos/kg. Las tres áreas de estudio tenían una mayor abundancia de microplásticos que la zona de control en la que no había perturbación humana de ningún tipo, a pesar de que en estudios previos se han observado niveles más altos de microplásticos en el agua y los sedimentos del puerto que en áreas adyacentes. Se obtuvo un resultado de obtención de microplásticos y metales pesados, que pueden provenir de diferentes fuentes. Los microplásticos derivan de fuentes antropogénicas, mientras que el Cd y el Hg (metales pesados encontrados) pueden derivar de fuentes antropogénicas o naturales.	La contaminación por microplásticos en el humedal hallada, indica que la influencia directa de las actividades humanas tiene una contribución mucho mayor que la influencia indirecta, siendo la zona de puerto el área más contaminada. Se obtuvo una relación entre la abundancia de microplásticos y la concentración de PET (Tereftalato de polietileno). Esto indica que el PET se puede utilizar como marcador de microplásticos en los suelos de esta zona.

Santos et al., 2021.	Experimental. Evaluar el impacto de los microplásticos y el metal pesado cobre (Cu) en el pez cebra ( <i>Danio rerio</i> ) tanto en su desarrollo como en el crecimiento y comportamiento de las larvas.	Peces cebra. Embriones de pez cebra expuestos a cantidades controladas de microplásticos, Cobre y mezclas de ambos contaminantes usando las mismas concentraciones, desde 2 horas después de la fertilización hasta 14 días después de la fecundación.	Los contaminantes se distribuyeron aleatoriamente en vasos de precipitados de vidrio de 1L y se expusieron a 2 mg/L de microplásticos, dos concentraciones subletales de Cu (Cu60, 60 µg/L; y Cu125, 125 µg/L) y dos mezclas binarias que contienen Cu y microplásticos durante 14 días. Se siguió un monitoreo por vídeo de las larvas para observar su comportamiento. EN base a los resultados, los microplásticos pueden haber sido un vector para la absorción de Cu por las larvas, ya que las concentraciones internas de Cu fueron más altas en las exposiciones mixtas en comparación con el Cu solo.	La supervivencia de las larvas se vio reducida en los grupos expuestos a los contaminantes y contaminantes mezclados. Se observó también alteración del comportamiento, baja velocidad de nado, neurotoxicidad e hipoactividad.
----------------------	--	--	--	---

### Anexo 6.- Estudios que relacionan los efectos de los microplásticos en la salud.

Autor, año, país	Tipo de estudio y objetivo	Sujetos y origen	Medida de resultados	Conclusión y/o limitaciones
Campana le et al., 2020.	Bibliográfico. Se explica qué sustancias químicas y tóxicas, son peligrosas y dónde están contenidas para describir los efectos y las implicaciones de estos químicos en la salud humana.	Tanto animales como ser humano. Como los microplásticos y sus derivados afectan a toda la biodiversidad.	Daños que provocan el Bisfenol A, ftalatos, cloruros, poliuretanos, metales pesados (antimonio, aluminio, bromo, cadmio, cinc, etc.), retardantes de llama, etc. Todos estos compuestos provocan daños en la salud humana y a los animales provocando efectos genotóxicos y citotóxicos sobre las células epiteliales pulmonares y los macrófagos, inflamación y cambios fibróticos en el tejido bronquial y peribronquial y otros tipos de perjuicios para la salud incluso afectando perjudicialmente a la placentación del feto en mujeres embarazadas.	La persistencia en el organismo de compuestos microplásticos, afectan al organismo ya que las fibras grandes no se pueden eliminar con éxito. Los compuestos más pequeños pueden acceder a todos los órganos, atravesar las membranas celulares, entrar en la placenta, el hígado, los músculos y el cerebro.
Wang et al., 2021. China	Experimental. Investigar los efectos de las PS-MP en células renales in vitro e in vivo el efecto del poliestireno de microplásticos en células HK-2 de riñones humanos y en ratones C57BL/6 macho.	Células epiteliales tubulares proximales de riñón humano (células HK-2) y ratones C57BL/6 macho.	Absorción de poliestireno por las células HK-2 provocando estrés del retículo endoplásmico y mayor inflamación en la autofagia de las células renales y niveles proteicos más altos como en las LC3 y Beclin 1 y también cambios en las quinasas. Los ratones tenían más lesiones histopatológicas en los riñones y niveles más altos de estrés del retículo endoplásmico y marcadores inflamatorios y proteínas relacionadas con la autofagia en los riñones.	La exposición a este tipo de microplásticos confirmó que provocaban disfunción mitocondrial, estrés en el retículo endoplásmico, inflamación y autofagia en las células renales y estos problemas se acumularon en las células HK-2 y en los riñones de los ratones, provocando riesgos renales y fugas de proteínas.



De la Torre, GB. 2020	Bibliográfico. Evidenciar la presencia de microplásticos en los alimentos y demostrar sus implicaciones para la seguridad alimentaria y los riesgos que conllevan en la salud humana.	Microplásticos en los productos marinos, impactos en las especies marinas comerciales y la seguridad alimentaria y sus efectos en la salud humana	Las principales vías de exposición son la inhalación, la ingestión y el contacto dérmico. Algunas posibles rutas de entrada son las glándulas sudoríparas, las lesiones cutáneas abiertas o los folículos pilosos. Las partículas de menos de 150 µm pueden introducirse en el sistema circulatorio, pero se espera una absorción de menos del 0,3 % de partículas y ocurre por pinocitosis y procesos fagocíticos vesiculares. Los efectos más comunes son la citotoxicidad, la inflamación y la producción de especies reactivas de oxígeno.	Investigaciones, han demostrado que algunos compuestos microplásticos pueden volverse cancerígenos, mutagénicos y disruptores endocrinos después de ser absorbidos. La contaminación ambiental por plásticos y microplásticos supone un riesgo para la salud humana. Se necesitan más investigaciones y mejorar la legislación de residuos plásticos.
-----------------------	---	---	--	---