



Universidad de Jaén

Facultad de
Ciencias
Experimentales

Efectos de la contaminación por micro- y nanoplásticos en seres vivos.

Elena González López.

Grado: Química.

Julio, 2025



CREA



Universidad de Jaén



Facultad de
Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Efectos de la contaminación por micro- y nanoplásticos en seres vivos.

Alumno/a: Elena González López
Jaén, Julio, 2025

ÍNDICE :

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. PLÁSTICO: HISTORIA, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES.....	6
2.1. Historia y desarrollo del plástico.	6
2.2. Definición y clasificación.	8
2.3. Estructura y propiedades.....	9
2.4. Reacciones de polimerización para la obtención de polímeros.....	11
2.4.1. <i>Reacciones de polimerización en cadena.</i>	13
2.4.2. <i>Reacciones de polimerización radicalaria.</i>	13
2.4.3. <i>Reacciones de polimerización catiónica.....</i>	14
2.4.4. <i>Reacciones de polimerización aniónica.....</i>	14
2.4.5. <i>Reacciones de polimerización por condensación.</i>	15
3. CONTAMINACIÓN POR MPs Y NPs.....	16
3.1. Efectos nocivos de los MPs y NPs en seres acuáticos.	18
3.1.1. <i>Procedencia y distribución en el mar.</i>	18
3.1.2. <i>Bioacumulación en seres acuáticos.</i>	20
3.1.3. <i>Procedencia y distribución en ríos.....</i>	21
3.2. Efectos nocivos de los MPs y NPs en seres terrestres.	23
3.2.1. <i>Procedencia y distribución en el suelo.....</i>	23
3.2.2. <i>Transporte de MPs en el suelo.</i>	24
3.2.3. <i>Afectación e interacción con los seres vivos en el suelo.</i>	25
3.3. Efectos nocivos de los MPs y NPs en el ser humano.	26
4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE MPs.	30
5. FORMAS DE RETIRAR EL PLÁSTICO DEL MEDIO Y SU RECICLAJE.	33
5.1. Biodegradación.....	33
5.2. Enzimas.....	34
5.3. Termólisis.....	35
5.4. Polímeros biodegradables.....	36

6. PERSPECTIVAS FUTURAS Y CONCLUSIÓN.....	37
7. BIBLIOGRAFÍA.....	38

RESUMEN.

El plástico ha provocado grandes avances en la sociedad, pero también ha conllevado una serie de consecuencias debido a la gran sobreproducción y contaminación. La degradación de este material en partículas de menor tamaño contamina el mar, aire y suelo además de provocar graves consecuencias en seres vivos debido a una continua exposición.

En esta revisión se muestra los efectos que puede provocar los microplásticos y nanoplásticos en seres vivos y en el medio, así como posibles opciones de reciclaje y técnicas de detección junto con una mayor concienciación en la sociedad.

ABSTRACT.

Plastic has led to major advances in society, but it has also brought a series of consequences due to overproduction and pollution. The degradation of this material into smaller particles contaminates the sea, air and soil and causes serious effects on living beings due to continuous exposure.

This review presents the effects that microplastics and nanoplastics can have on living organisms and the environment, as well as possible recycling options and detection techniques, along with the need for greater awareness in society.

1. INTRODUCCIÓN.

El descubrimiento y desarrollo del plástico ha dado lugar a un gran impacto y avance en la sociedad convirtiéndose un material esencial debido a sus propiedades como su durabilidad y bajo coste, presente en nuestro en nuestro día a día desde envases para alimentos y su presencia en el aire que respiramos (Yair Capilla -Juárez et al., 2024). En la figura 1 se muestra cómo se distribuye la producción del plástico a nivel mundial en el año 2019, siendo el país más productor del plástico China en un 31%, como segundo país productor es EEUU con un 19% y por último le sigue Europa con un 16%.



Figura 1. Distribución de la producción mundial de plásticos.

<https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>

En la actualidad la producción y uso del plástico se ha incrementado originando un importante objeto de estudio y preocupación tanto para la ciencia como para la

sociedad a nivel mundial (Yair Capilla -Juárez et al., 2024). El plástico se caracteriza por una gran durabilidad y capacidad de fragmentación en partículas de tamaño más pequeño denominadas microplásticos (MPs) y nanoplásticos (NPs) (Yair Capilla -Juárez et al., 2024). Estas partículas pueden transportarse fácilmente alcanzando alimentos que se consumen en la rutina diaria y acumulándose en tejidos y órganos (Yair Capilla -Juárez et al., 2024). Uno de los motivos de esta preocupación es que los MPs y NPs son partículas capaces de alterar la salud humana y provocar contaminación en el medio ambiente (Yair Capilla -Juárez et al., 2024).

A diario, como se puede observar en la figura 2 se producen millones de toneladas de plástico, los cuales, al no ser desechados y reciclados adecuadamente acaban en el medio, es decir, en el mar, el aire y el suelo. El país líder en producción mundial de material plástico es China, aportando el 17,5% del total global, mientras que Turquía es el principal generador de residuos plásticos en el Mediterráneo, con 144 toneladas diarias (Osman et al., 2023).



Figura 2. Elevada acumulación de residuos plásticos debido a un desecho inadecuado.
<https://www.larazon.es/atusalud/medioambiente/hay-109-000-tipos-de-residuos-plasticos-en-la-naturaleza-AF22411100/>

Otra problemática que se suma es que para mejorar las propiedades del plástico se añaden aditivos entre ellos está la presencia del bisfenol A y algunos metales

pesados, cuando el plástico se degrada estos aditivos se separan provocando efectos nocivos tanto en la salud y en el medio (Buteler, 2019).

Por último, el reciclaje de este material sigue siendo objeto de estudio y desarrollo debido su complejidad ya que una vez fragmentado el plástico resulta muy complejo eliminar del ambiente (Buteler, 2019). La mayoría de los desechos plásticos no se reciclan adecuadamente una pequeña parte se recicla ya que el proceso de reciclaje no tiene gran aporte económico y una vez finalizado el proceso el plástico obtenido disminuye su calidad (Buteler, 2019).

Los desechos plásticos una parte se incinera y el restante es desechado de forma inadecuada finalizando en el mar y vertederos (Buteler, 2019). También se debe tener en cuenta la exportación de desechos plásticos por parte de países desarrollados a países menos desarrollados (Buteler, 2019). Estos países no pueden afrontar la gran cantidad de desechos, los cuales serán enterrados dando lugar a acumulación y contaminación en el medio (Buteler, 2019).

2. PLÁSTICO: HISTORIA, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES.

2.1. Historia y desarrollo del plástico.

El descubrimiento y desarrollo del plástico se originó con la búsqueda de la obtención de un material que tuviera una apariencia similar a los polímeros naturales presentes en la naturaleza, fuese más económico y fácil de obtener ya que en ocasiones era complejo de obtener un polímero natural o no estaba disponible en algunas etapas en la historia (García Fernández-Villa et al., 2002).

Debido a determinadas invasiones en distintas zonas comenzaron a escasear algunos materiales naturales y se buscó el desarrollo de materiales sintéticos que se asemejaran como en la invasión de Malasia el cual era el mayor productor a nivel mundial del caucho, tras la invasión comenzó la carencia y dificultad para encontrar este material (García Fernández-Villa et al., 2002).

El descubrimiento y desarrollo del plástico permitió numerosos avances entre ellos la fabricación de los CD o DVD a partir de policarbonato, creación de caucho sintético (García Fernández-Villa et al., 2002) y la tarjeta de crédito y fue

sustituyendo otros materiales como el acero en vehículos y el algodón en la ropa (Buteler, 2019).

Inicialmente los polímeros sintéticos que conocemos en la actualidad se desarrollaron a partir de materiales naturales a los cuales se han modificado con el tiempo hasta llegar a los actuales. Los primeros materiales obtenidos fueron el caucho vulcanizado, derivados celulósicos y proteicos los cuáles provocaron un gran desarrollo en la industria (García Fernández-Villa et al., 2002).

El caucho galvanizado se empleó en la obtención de botones y joyas, debido a que este material tenía una serie de limitaciones por que se veía afectado por la luz y temperatura (García Fernández-Villa et al., 2002).

Respecto a los derivados de celulosa se comenzó a obtener el nitrato de celulosa por parte de Schönbein en 1845, este material también tenía limitaciones por ser inflamable y su uso principal fue como explosivo (García Fernández-Villa et al., 2002). En 1846 se creó un nitrato de celulosa el cuál se comenzó a emplear para proteger las heridas (ver figura 3) (García Fernández-Villa et al., 2002).

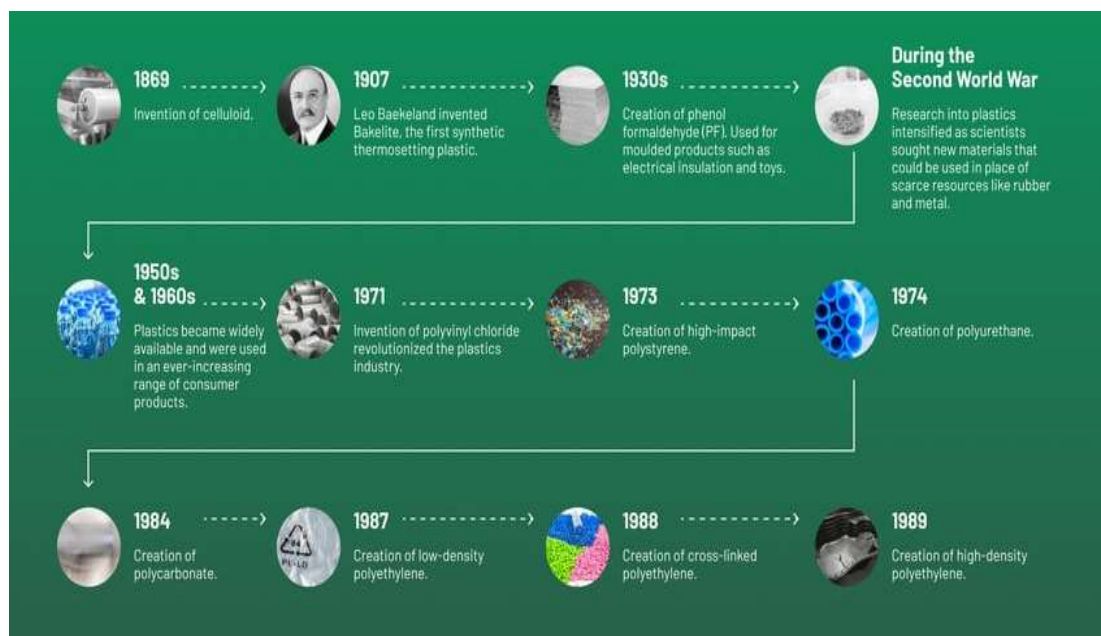


Figura 3. Historia y desarrollo del plástico desde 1869 a 1989.

<https://www.wastetrade.com/es/resources/plastics/introduction-to-plastics/history-of-plastics/>.

Finalmente, el ingeniero Parkes mostró gran interés por la industria del plástico, inicialmente a pesar de las limitaciones de estos materiales estuvo interesado en el colodión y mejoró el proceso para la obtención de la parkesina. Después de Parkes, Hyatt mejoró el proceso para obtener el colodión (García Fernández-Villa et al., 2002) y en un proceso parecido a la obtención de la parkesina se obtuvo el celuloide derivado de la celulosa (ver figura 3) y se consiguió así un material que sustituyera al marfil empleado en las bolas de billar debido al agotamiento de éste (García Fernández-Villa et al., 2002).

Años más tarde Leo Baekeland inventó la baquelita el primer plástico sintético (ver figura 3). En la década de 1930 se descubrió que el plástico podría obtenerse a partir del petróleo lo que llevo la producción de este material a gran escala y con ello el desarrollo de otros tipos de plástico. En los años 40 con la llegada de la segunda guerra mundial amplió su uso ya que este material era económico, el más usado era la silicona empleada en envases. En 1950 el uso mayoritario del plástico fue en la ropa y tejidos al ser más económico que la lana. Finalmente, con el avance de la sociedad debido a su fácil uso y bajo precio, los plásticos fueron sustituyendo a otros materiales y desarrollando nuevos tipos de plástico (Liliana Montero Rodríguez & Megías Barragán, 2008).

2.2. Definición y clasificación.

El plástico es un material creado por el hombre, el cual está constituido por macromoléculas orgánicas denominadas polímeros. Los polímeros son una molécula de gran tamaño constituida por monómeros (Leroy G.Wade, 2017).

El plástico se caracteriza por su flexibilidad, resistencia y fácil moldeado. Este material se obtiene a partir de polímeros que proceden del petróleo, pero sus características se deben a la adición de una serie de aditivos para mejorar las propiedades, es decir, no son polímeros puros, estos aditivos se añaden para mejorar flexibilidad, resistencia, e incluso darle color. A su vez, no están unidos a la matriz del polímero, por lo que se pueden transportar al medio con facilidad (Buteler, 2019). Entre los aditivos que se añade a la matriz del polímero, se puede encontrar

plastificantes para mejorar la flexibilidad y elasticidad como los ftalatos, antioxidantes para evitar la degradación y decoloración y estabilizadores térmicos para evitar su degradación térmica como retardantes de llama (Megill et al., 2024). Asimismo, se adicionan con el objetivo de mejorar la apariencia y resistencia también se puede encontrar el bisfenol A que se emplea como aditivo (Buteler, 2019; Megill et al., 2024).

A continuación, el plástico se puede clasificar en base a el comportamiento frente al calor en:

- a) Termoplásticos: Cuando se aplica altas temperaturas se funden, durante el proceso de enfriamiento se solidifican y tienen la capacidad de deformarse de forma repetitiva (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).
- b) Termoestables: Tras la aplicación de temperatura, este tipo de plástico no presenta resistencia frente al calor por lo que finalmente se descompone (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).

A su vez, el plástico se puede clasificar en función de la capacidad de descomposición en la naturaleza en:

- a) Plástico biodegradable: En el medio se descompone de forma natural (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).
- b) Plástico no biodegradable: En el medio no se descompone de forma natural, permanece intacto durante un elevado periodo de tiempo (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).

2.3. Estructura y propiedades.

Aunque existe varias diferencias entre cada tipo de polímero entre ellos existen propiedades comunes como la densidad, conductividad térmica y eléctrica (Beltrán, 2011). La densidad del plástico es baja por dos motivos principales y se debe a que los átomos que se encuentran en la estructura tienen un peso atómico bajo como el carbono, hidrógeno y halógenos. A su vez la conductividad térmica es baja ya que hay ausencia de electrones libres también el plástico tiene baja conductividad eléctrica y tienen gran resistencia que va a depender de cómo de cristalino es el

plástico. Finalmente, los plásticos que no se les ha adicionado aditivos en su estructura son traslúcidos (Beltrán, 2011).

En la figura 4 se muestra una clasificación de los distintos tipos de plástico según su código de identificación de polímeros junto a su estructura característica y una serie de usos más comunes (Winiarska et al., 2024).



Figura 4. Clasificación de los plásticos y su estructura. Imagen obtenida por Elena González López en biorender. <https://app.biorender.com/biorender-templates/figures/all/t->

Cada tipo de plástico lleva asignado un símbolo de forma triangular, con tres flechas y un número en su interior. Este símbolo se denomina **código de identificación de polímeros**, el cual aparece en cada envase indicando el tipo de plástico con el que se ha fabricado el objeto para facilitar la información sobre el tipo de polímero con el que está fabricado y, además, facilitar así su posterior reciclaje (Ignacio Fernández, 2020; Winiarska et al., 2024).

1. Número 1: (PET (Tereftalato de polietileno)).

- Propiedad: Ligero, económico y duro, fácil reciclado.
- Uso: Se emplea para envases como botellas de agua o alimento.

2. Número 2: (HDPE (Polietileno de alta densidad)).
 - Propiedad: Menos flexible que el PET, resistente a químicos.
 - Uso: Se emplea en envases como cartón de leche, productos de limpieza, champú, etc.
3. Número 3: (PVC (Cloruro de polivinilo)).
 - Propiedad: No se emplea en alimentos debido a que en su estructura presenta un átomo de cloro y se libera toxinas, es duro y resistente.
 - Uso: Fabricación de tuberías.
4. Número 4: (LDPE (Polietileno de baja densidad)).
 - Propiedad: Ser flexible y transparente.
 - Uso: Se usa en bolsas.
5. Número 5: (PP (Polipropileno)).
 - Propiedad: Material duro y resistente al calor.
 - Uso: Se usa para almacenar alimentos.
6. Número 6: (PS (Poliestireno)).
 - Propiedad: Es rígido.
 - Uso: Se emplea en tapas y cubiertos desechables.

2.4. Reacciones de polimerización para la obtención de polímeros.

El plástico está formado por polímeros constituidos por la repetición de unidades denominadas monómeros. Los polímeros a su vez se clasifican en naturales o sintéticos, los polímeros naturales son aquellos empleados por el hombre desde la antigüedad para su uso en la vida cotidiana como la resina natural o sintéticos creado por el hombre por su necesidad de poder sustituir los polímeros naturales (Caillol, 2021).

Para obtener los polímeros sintéticos es necesario realizar reacciones de polimerización (Mier et al., 1997). Las reacciones de polimerización se clasifican dependiendo del tipo de reacción que se produce para dar lugar a un tipo de polímero u otro en reacciones en cadena, radicalaria, catiónica, aniónica y por condensación (Mier et al., 1997).

A su vez se muestra una clasificación adicional en la que los polímeros obtenidos en polímeros de adición como LDPE, HDPE, PP Y PVC y polímeros de condensación como el PET. La principal diferencia entre ambos tipos de polímeros es que los polímeros de condensación, dentro de su estructura, pierden una molécula cuando se produce la formación del polímero, mientras que en los polímeros de adición no se produce esta pérdida, además presentan una reacción en cadena (Mier et al., 1997).

Estas reacciones se basan en una reacción global que produce a través de tres etapas (ver figura 5) (Mier et al., 1997):

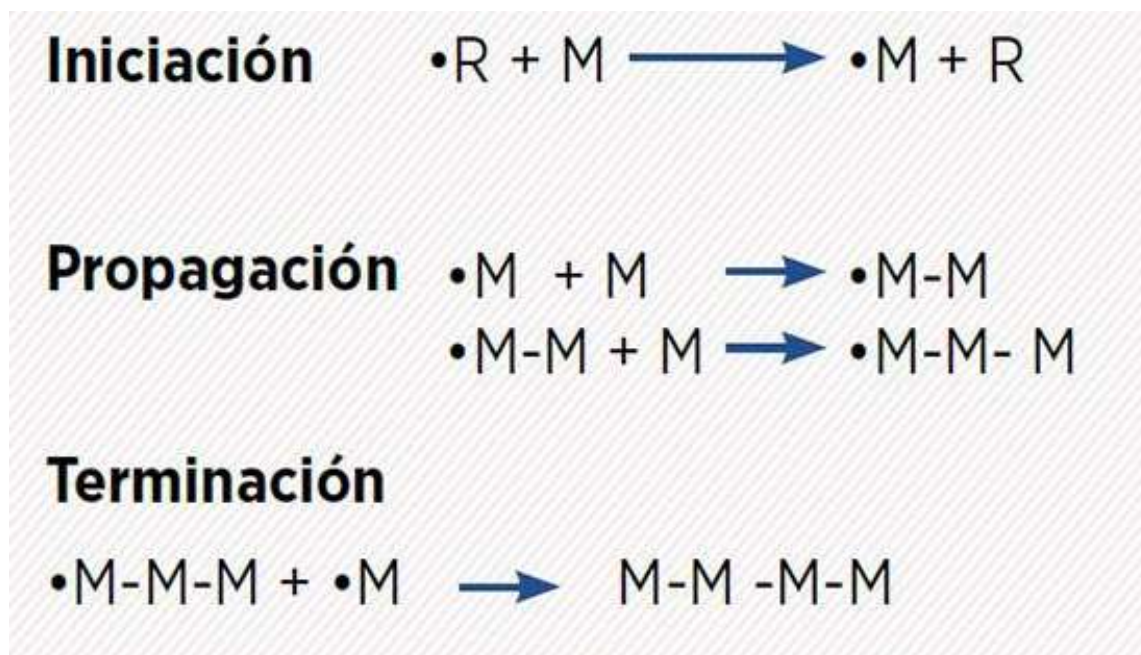


Figura 5. Etapas de la reacción de polimerización.
<https://elbibliote.com/resources/Temas/html/2032.php>

- 1) Iniciación: Por acción de luz, radiación la molécula que inicia el proceso denominada especie activa se descompone para dar un radical, catión o anión.
- 2) Propagación: Unión de la especie activa al monómero (M) creando al monómero activado.
- 3) Terminación: Crecimiento de la cadena dando lugar al polímero.

2.4.1. Reacciones de polimerización en cadena.

Las reacciones de polimerización en cadena también denominadas polimerización por adición, se basa en una reacción que se produce en cadena en la cual la unidad de monómero se va adicionando al polímero (figura 6) (Speight, 2011).

Este tipo de reacciones se clasifican en radicalaria, catiónica o aniónica, esto va a depender de la especie activada que participe en el proceso y de inicio a la reacción de polimerización (Speight, 2011). Tienen en común el proceso global de reacción, todas se producen a través de tres etapas (ver figura 5) (Speight, 2011).

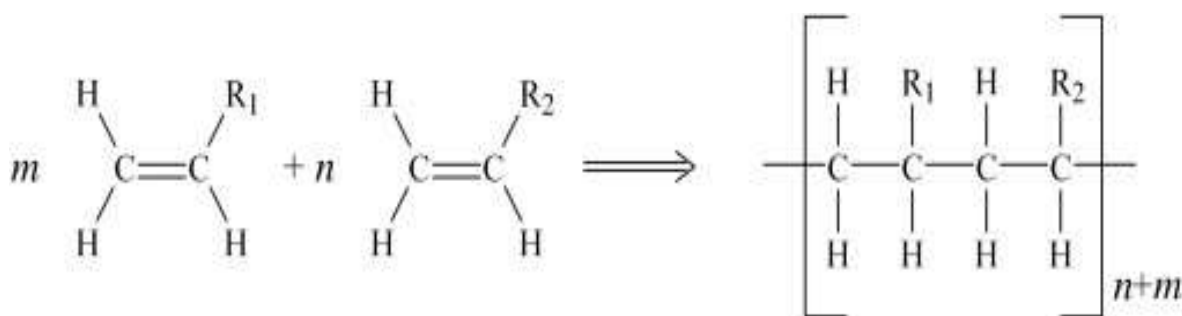


Figura 6. Reacción de polimerización en cadena, adición del monómero al polímero (Speight, 2011).

2.4.2. Reacciones de polimerización radicalaria.

Las reacciones de polimerización radicalaria tienen lugar en alquenos, moléculas orgánicas que presentan doble enlace en su estructura. El comienzo de la reacción se produce en la etapa de iniciación en la que participa el iniciador, molécula que suele ser peróxidos, diazocompuestos y persulfatos (Speight, 2011).

En la etapa de iniciación comienza por la acción de calor o luz el iniciador va a disociarse homolíticamente al ser irradiado obteniendo un radical, este radical va a reaccionar con el monómero generando un monómero activado.

A continuación, en la etapa de propagación el monómero activado generado en la anterior etapa va a reaccionar con otros monómeros y finalmente en la etapa de terminación debido a la asociación de monómeros y crecimiento de la cadena dará como resultado el polímero final (Speight, 2011).

2.4.3. Reacciones de polimerización catiónica.

Las reacciones de polimerización catiónica se caracterizan por el iniciador suele ser un ácido fuerte o ácido de Lewis (Speight, 2011). El proceso comienza en la etapa de iniciación, el iniciador actúa como electrófilo reaccionando con el monómero dando lugar al ion carbonio (Speight, 2011). La etapa de propagación se producirá a través del ion resultante más estable dependiendo si el ion es primario, secundario o terciario (Speight, 2011).

En la etapa de propagación el ion formado se añade al monómero y los monómeros a su vez se asocian dando lugar al crecimiento de la cadena y formando el polímero con la pérdida de un protón (Speight, 2011).

2.4.4. Reacciones de polimerización aniónica.

Las reacciones de polimerización aniónica se diferencian de las reacciones de polimerización catiónica debido a que el iniciador actúa como nucleófilo. En la etapa de iniciación el iniciador de carácter nucleófilo reacciona con el monómero dando como resultado un ion que en este tipo de reacción es un carbanión a continuación este carbanión se une a la molécula de monómero y los monómeros a su vez se asocian dando lugar al crecimiento de la cadena y formando el polímero con la adición de un protón (Speight, 2011).

Para la obtención de polipropileno y cloruro de polivinilo se realiza la polimerización de alquenos, se basa en una reacción en cadena, en la cual se van uniando alquenos que solo tienen un grupo funcional (figura 7) (Leroy G.Wade, 2017).



Figura 7. Reacción de polimerización del cloruro de vinilo para la obtención de PVC.
<http://blog.pucp.edu.pe/blog/quimicageneral/quimica-1/unidad-8-materiales-modernos/8-2-polimeros/>

La reacción de polimerización del estireno se basa en una reacción de polimerización aniónica en la que participa como iniciador nucleófilo anión amiduro, que se adiciona al estireno actuando como monómero dando lugar a la formación del carbanión. El carbanión se adiciona al monómero y dará lugar al poliestireno (ver figura 8) (Speight, 2011).



Figura 8. Reacción de polimerización del estireno para la obtención del poliestireno.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliestireno.html>.

2.4.5. Reacciones de polimerización por condensación.

La reacción de polimerización por condensación se basa en la reacción de dos compuestos orgánicos diferentes, dando lugar a la formación del monómero, el cual al unirse a otros monómeros ocasiona un dímero hasta formar el polímero. Durante el proceso se produce una pérdida de una molécula (figura 9) (Balart Gimeno et al., 2024).

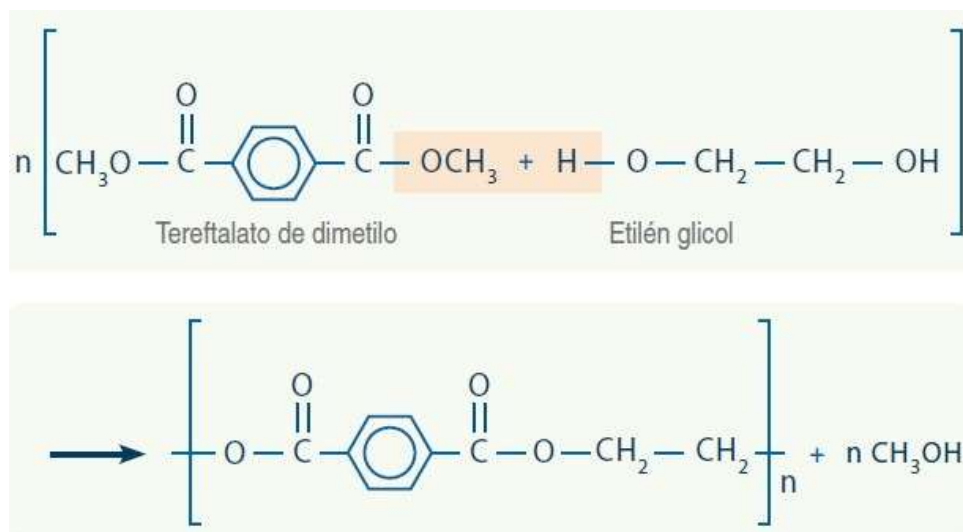


Figura 9. Reacción de polimerización por condensación del PET.
https://www.fullquimica.com/2013/01/formacion-de-los-polimeros-sinteticos_31.html

La reacción de polimerización del PET se obtiene por reacción de esterificación entre un ácido carboxílico y un alcohol, produciéndose un enlace éster y se va perdiendo una molécula de agua en el proceso (Balart Gimeno et al., 2024).

3. CONTAMINACIÓN POR MPs Y NPs.

Durante los años 70 la producción de plástico ha ido incrementando y se espera para 2025 la producción de 500 mil millones de toneladas de plástico, cómo en el caso de la época del coronavirus en la que tanto la producción como el uso de la mascarilla, la cual está constituida por varios tipos de plástico como el propileno ha aumentado el número de estos residuos (Osman et al., 2023).

En la vida diaria estamos en continuo contacto con el plástico el cuál puede estar presente desde mochilas de plástico, productos de limpieza, ropa, cosméticos, hasta en recipientes de alimentos, etc (Osman et al., 2023). En consecuencia, la elevada producción de este material junto con su inadecuado reciclaje y eliminación va a provocar que todo este plástico se fragmente en pequeñas partículas denominadas NPs y MPs que se caracterizan por ser estables y no degradarse fácilmente, lo cuál va a producir su acumulación tanto en el medio natural como en los seres vivos (Osman et al., 2023). En la figura 10 muestra cómo se produce la contaminación invisible por MPs desde que se ha expuesto el individuo a este material hasta que llega a nuestra mesa.

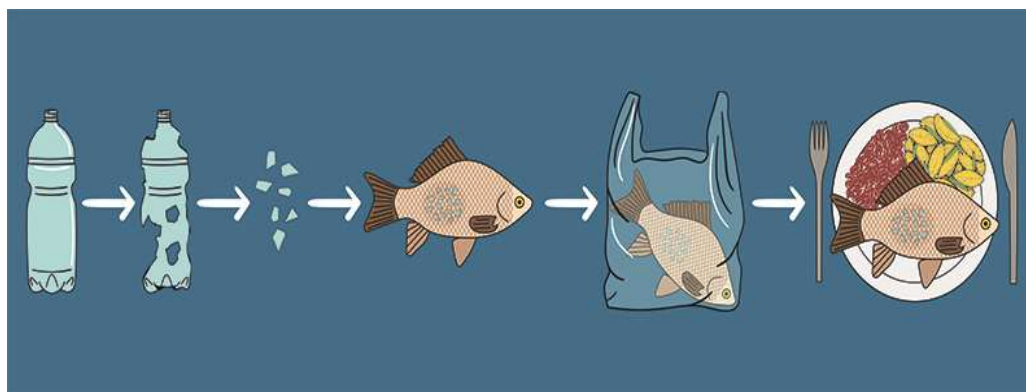


Figura 10. Contaminación invisible por MPs. /<https://www.euskadi.eus/entrada-blog/2021/microplasticos-la-contaminacion-invisible/web01-a2libzer/es/>

El plástico presente en el medio natural va a ser sometido a un proceso de degradación, este proceso va a depender de la luz solar, el calor, actividad biológica y propiedades que presenta el polímero como el tamaño y densidad (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024). Los procesos de degradación que va a ser sometido este material se clasifican en:

- a) Degradación física: Este tipo de degradación va a provocar cambios químicos como la oxidación. Se basa en la acción de olas, el material con el tiempo se va a volver más frágil y susceptible a la rotura (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).
- b) Fotodegradación: La acción de la radiación ultravioleta, provoca la descomposición del polímero, dando lugar a la ruptura de las cadenas que constituyen el polímero, reduciendo su peso molecular (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).
- c) Degradación química y térmica: Este tipo de degradación al igual que la fotodegradación va a romper las cadenas que constituyen al polímero (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).
- d) Degradación biológica: La acción de bacterias, hongos y levaduras son capaces de metabolizar el carbono presente en el polímero a dióxido de carbono, es decir descomponen el plástico a dióxido de carbono (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).

Por la acción de estos procesos el plástico se va a fragmentar y va a originar los NPs y MPs los cuáles se diferencian en el tamaño (Astorga-Pérez et al., 2022). Por lo que se va a definir MPs como partícula sólida sintética de tamaño comprendido entre 1 μm a 5 mm y se define NPs se define como partícula de tamaño inferior a 1 μm (Astorga-Pérez et al., 2022).

A su vez el plástico se clasifica según su procedencia en plásticos primarios y secundarios. El plástico primario procede del plástico fabricado en la industria con el objetivo de obtener productos que se usan a diario, mientras que el plástico secundario procede a consecuencia de la degradación del plástico por acción de

procesos químicos, mecánicos o biológicos (figura 11) (Navarro-Espinoza et al., 2023).

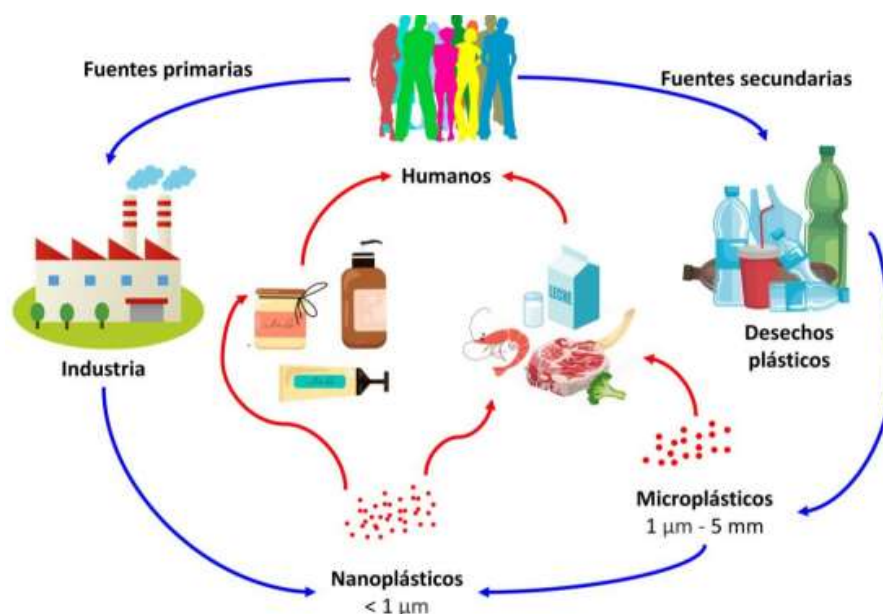


Figura 11. Fuentes primarias y secundarias (Navarro-Espinoza et al., 2023).

Debido al pequeño tamaño de MPs y NPs se transportan a cualquier medio con facilidad y pueden liberar sustancias añadidas al plástico que son tóxicas como metales pesados (Yair Capilla -Juárez et al., 2024) y actúan como portador de estos compuestos entre ellos se encuentra el bisfenol A (Yair Capilla -Juárez et al., 2024).

3.1. Efectos nocivos de los MPs y NPs en seres acuáticos.

3.1.1. Procedencia y distribución en el mar.

La mayoría de los desechos plásticos terminan en el mar, dónde se fragmentan, se degradan y se acumulan afectando al ecosistema y a los organismos que se encuentran en él incorporándose a la cadena trófica (Ignacio Fernández, 2020).

En la figura 12 se muestra las principales fuentes de las que procede el plástico del mar como los residuos vertidos a los ríos que van a acabar en el mar, turismo debido a todas las actividades que se realizan en torno a él como el buceo y los edificios que se construyen para promoverlo, desechos vertidos en las playas más concretamente en la orilla como colillas de cigarrillos que acabarán en el mar,

acuicultura en la que se emplean jaulas y otros utensilios como cuerdas que son fáciles de perder en el mar, la pesca y agricultura (Ignacio Fernández, 2020).

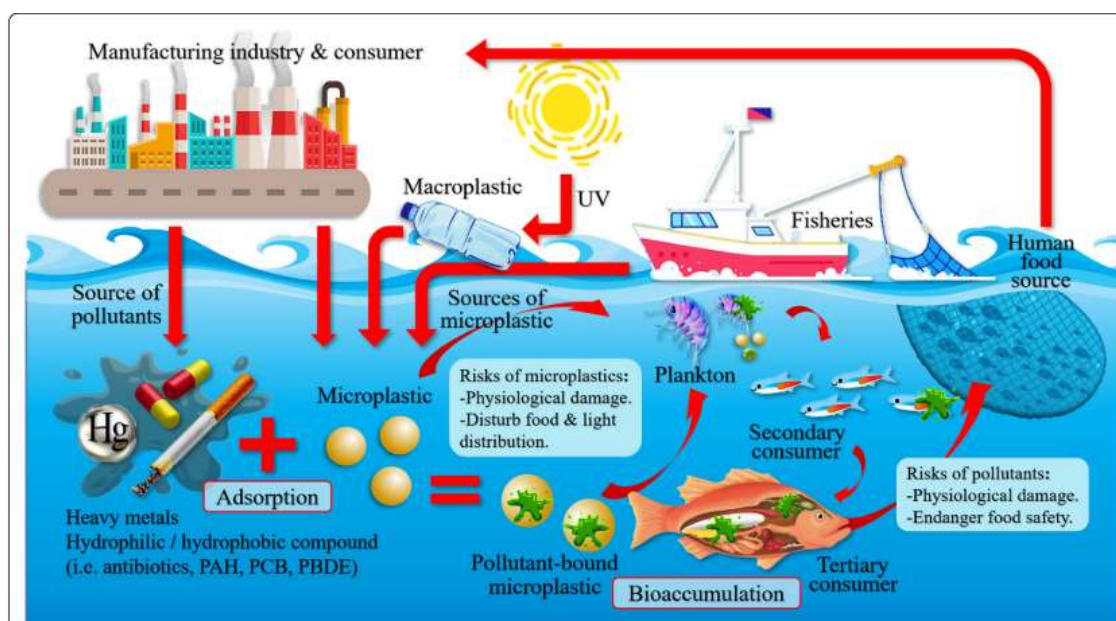


Figura 12. Esquema del ciclo del plástico y su impacto en el mar (Amelia et al., 2021).

El plástico cuando se fragmenta en partículas de menor tamaño se transporta muy fácilmente a través del viento, olas o corrientes (Ignacio Fernández, 2020). Como consecuencia se ven afectados los organismos marinos como aves o tortugas ya que pueden confundirlo con alimento o quedar atrapados en él provocando asfixia y la muerte (Ignacio Fernández, 2020).

Otros efectos que puede originar en seres acuáticos es hipoxia, la reducción del oxígeno disponible en tejidos y un factor importante a tener en cuenta es que los MPs tienen apariencia similar al fitoplancton, este tiene un color similar al alimento y se puede mezclar con él, provocando que esta partícula sea ingerida (Nayanathara Thathsarani Pilapitiya & Ratnayake, 2024).

El mar más contaminado de plásticos es el mar Mediterráneo el cual está rodeado por 22 países, en él se produce un gran tráfico de buques y es rico en biodiversidad, pero se puede ver perjudicada debido a la gran contaminación que presenta por plástico siendo los principales Turquía y España (Chediek & Muliterno, 2023).

3.1.2. Bioacumulación en seres acuáticos.

A través de las diversas fuentes citadas anteriormente los MPs pueden alcanzar a los organismos marinos y estos absorber estas partículas, la principal causa que más afecta es a través de la ingesta ya que una vez ingerido los MPs se acumulan en tejidos y órganos desencadenando una serie de consecuencias como es el caso de ballenas varadas en la orilla en cuyo interior del estómago se han encontrado la acumulación de plásticos provocando su muerte (Escobar Condor et al., 2019).

La acumulación va a depender de la zona de alimentación si es en la superficie del mar o en zonas más profundas y del tamaño del individuo (Escobar Condor et al., 2019).

La mayoría de los estudios se centran en la alteración del sistema digestivo ya que la acumulación de MPs en este a parte de la muerte puede dar lugar la contaminación de otros órganos ya que estas partículas se pueden trasladar a otros órganos y tejidos como hígado y cerebro (ver figura 13) (Escobar Condor et al., 2019).

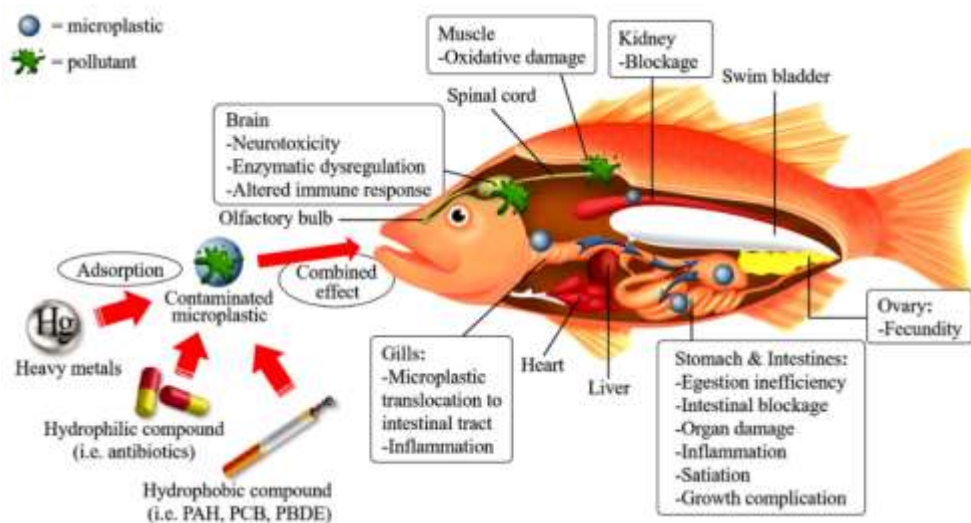


Figura 13. Consecuencias que el plástico puede desencadenar en seres acuáticos (Amelia et al., 2021).

Los MPs a parte de acumularse y trasladarse, pueden provocar estrés oxidativo. Estas partículas absorben metales pesados del agua, en el caso de la lubina el

mercurio presente en el agua se acumula en las branquias, finalmente esto va a dar lugar a estrés oxidativo (Escobar Condor et al., 2019).

Otras posibles consecuencias que desencadenan la exposición a los MPs afectando al sistema digestivo son la alteración de la alimentación y crecimiento y proceso de ovulación, en el caso en el proceso de ovulación estas partículas presentan la capacidad de adherirse a los huevos de los peces y ralentizar el proceso de eclosión (Khan et al., 2024).

A su vez estas partículas pueden acumularse en la cadena trófica, un depredador al atacar a su presa y si esta contiene MPs van a acumularse también en él con la consecuencia que esto conlleva y es que puede llegar finalmente al ser humano como producto de consumo (Escobar Condor et al., 2019).

3.1.3. Procedencia y distribución en ríos.

Una de las principales fuentes de la contaminación por plásticos en el mar son los ríos, ya que gran parte del agua que transporta estas partículas termina desembocando en el océano. Al igual que en el medio marino, los MPS y NPs son ingeridos por organismos acuáticos, acumulándose (Khan et al., 2024).

Sin embargo, a pesar de la abundancia de estudios en los ecosistemas marinos, existe una notable falta de investigaciones centradas en sistemas de agua dulce como ríos, lagos, entre otros. Cabe recalcar que ambos tienen la misma importancia. Un factor muy importante que considerar es que la concentración y presencia de estas partículas va a variar en función de la actividad humana en las zonas más próximas como la presencia de zonas industriales, zonas urbanas o plantas de tratamiento de aguas residuales (Khan et al., 2024).

Otras fuentes a través de las cuáles puede proceder la contaminación en ríos puede producirse por un vertido directo de desechos en ríos, por escorrentía urbana debido a que la lluvia puede arrastrar los desechos de las zonas urbanas a los ríos, a través de los sistemas de alcantarillado, por acción del viento y otras prácticas como la agricultura (figura 14) (Sáenz-Arias et al., 2023).

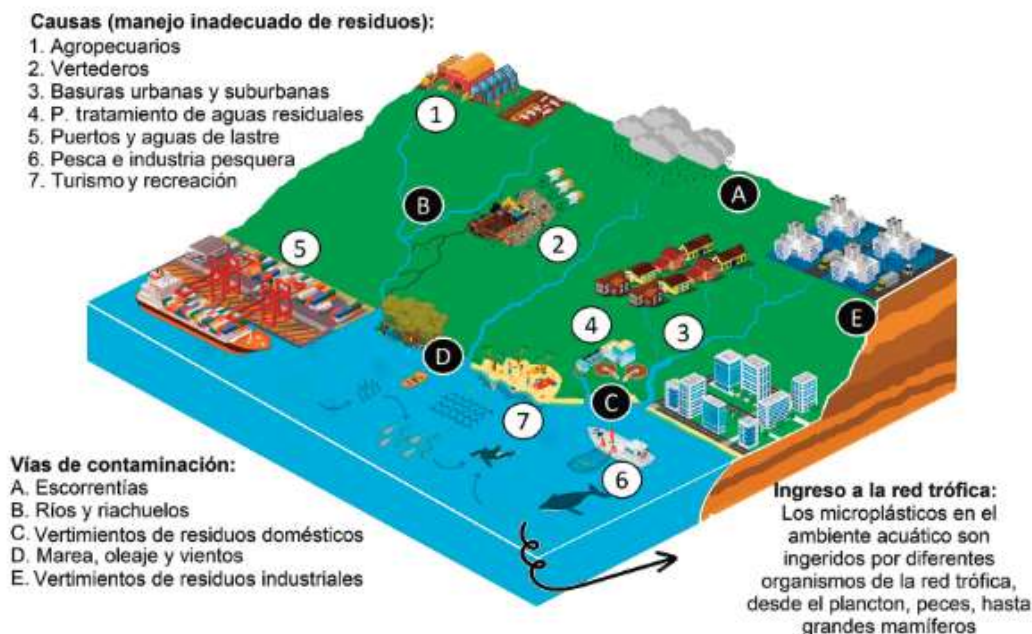


Figura 14. Distribución de MPs y NPs en ríos hasta alcanzar el mar (Sáenz-Arias et al., 2023).

Una de las pruebas sobre la presencia de MPs y NPs en sistemas de agua dulce se encuentra en los lagos de América del Norte, donde se detecta partículas procedentes de limpiadores faciales (Khan et al., 2024). También se ha detectado la presencia de MPs en el río Danubio, la investigación concluyó finalmente que este río es capaz de descargar sobre 1500 toneladas de plástico por año al mar negro (Wagner et al., 2014)

La prueba sobre la ingesta de MPs por peces es cada vez más sólida. Se han detectado estas partículas en branquias y tejidos de diversas especies, llegando a el individuo a través de la alimentación o respiración. Un estudio realizado en Brasil con peces de diferentes tamaños reveló que la cantidad de MPs ingeridos está directamente relacionada con el tamaño del pez. La investigación confirmó que, al producirse la ingestión, se liberan toxinas que son absorbidas por los peces, provocando toxicidad hepática (Khan et al., 2024).

Otro estudio realizado en el pez cebra, en el cual se realizó a lo largo de sus diferentes etapas de desarrollo. Al exponerlo a MNPs, se observó que los MNPs se trasladaron a través del sistema circulatorio hasta llegar al corazón en los

embriones, provocando alteraciones en la frecuencia cardíaca y edema pericárdico, un claro indicador de toxicidad (figura 15) (Zhu et al., 2023).



Figura 15. Imagen que muestra el aspecto del pez cebra. <https://www.residuosprofesional.com/pez-cebra-efectos-nanoplasticos-salud/>.

3.2. Efectos nocivos de los MPs y NPs en seres terrestres.

3.2.1. Procedencia y distribución en el suelo.

Una de las principales fuentes proviene por parte del ser humano en mayor parte de la práctica agrícola que conlleva el uso de fertilizantes y pesticidas (Surendran et al., 2023), residuos plásticos, el tráfico de vehículos y vertederos. Los vertederos se emplean para el desecho de muchos residuos entre ellos se encuentra el plástico que al ser enterrado se va a ir degradando con el paso del tiempo y por acción de fenómenos físicos o acción de microorganismos y a partir de los vertederos se puede producir el transporte a otros medios (Dube & Okuthe, 2023).

Un ejemplo de portador es la lombriz de tierra la cuál es capaz de transportar el plástico a otros medios ya que al ingerir el plástico más tarde este será excretado a una mayor profundidad dando lugar a la presencia de estas partículas en zonas más

profundas del suelo (Dube & Okuthe, 2023). Otras posibles fuentes pueden ser las plantas de tratamiento de aguas residuales y procesos naturales como la acción del viento, precipitaciones y la escorrentía (Pérez-Reverón et al., 2023).

3.2.2. Transporte de MPs en el suelo.

El transporte de estas partículas en el suelo como se puede observar en la figura 16 se puede producir de manera vertical u horizontal y a su vez va a depender de los siguientes factores (Pérez-Reverón et al., 2023):

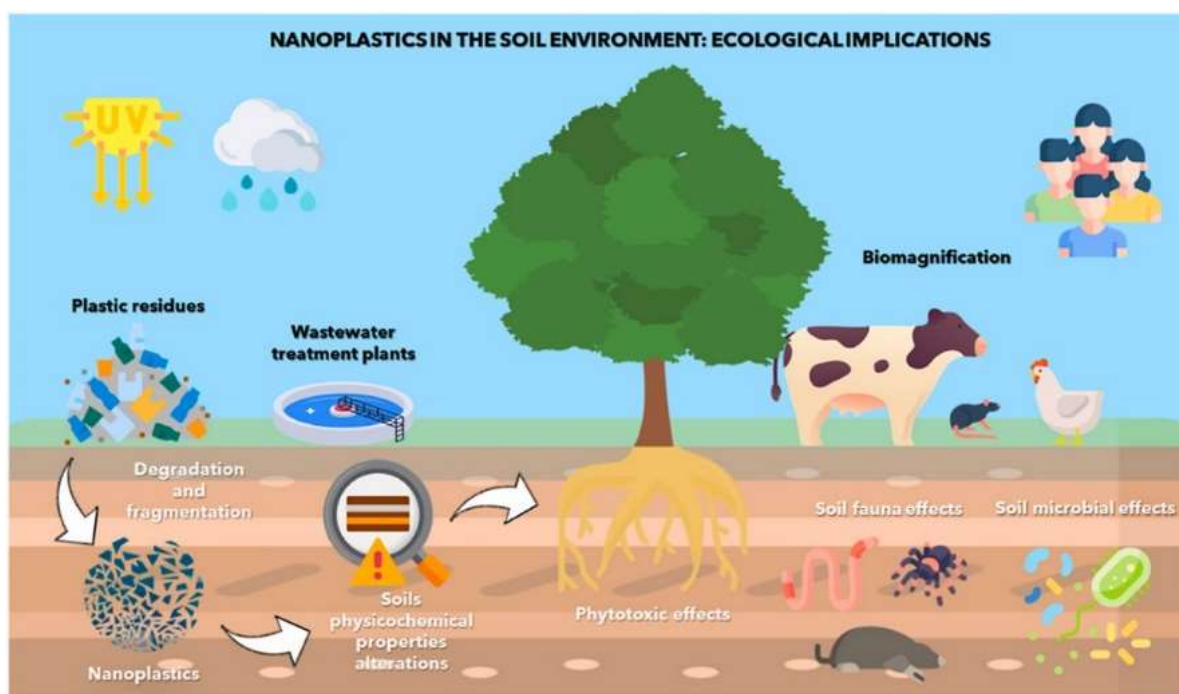


Figura 16. Esquema de la distribución de MPs en el suelo (Pérez-Reverón et al., 2023).

- Tamaño de los MNPs, pueden también interaccionar con los metales presentes en el suelo.
- Propiedades del suelo: como la porosidad ya que los poros y grietas favorecen el transporte ascendente de las partículas, la infiltración favorece el transporte descendiente de las partículas, cantidad de materia orgánica, capacidad de retener el agua, pH al aumentar favorece la migración.
- Los MPs pueden filtrarse hacia las aguas subterráneas (Surendran et al., 2023).
- La acción humana.

3.2.3. *Afectación e interacción con los seres vivos en el suelo.*

Una de las principales causas de la limitada información que se puede encontrar sobre la presencia y afectación de los MPs en el suelo es que la matriz del suelo es mucho más compleja a la hora de estudio y de extracción de MPs (Rillig, 2012).

Los MPs y NPs pueden tener consecuencias perjudiciales en el ecosistema terrestre y en los seres que habitan en él, como la reducción de la fertilidad del suelo y alteración de los niveles de oxígeno, lo que afecta a los organismos que ingieren estas partículas, favoreciendo su acumulación en los tejidos (Browne et al., 2013).

Por ejemplo, en lombrices de tierra, el contacto con arena contaminada por aditivos presentes en el plástico y compuestos como PVC, nonilfenol y fenantreno provocó que estos contaminantes se transfirieran a los tejidos intestinales. Este fenómeno tuvo efectos negativos en las lombrices, ya que disminuyeron su alimentación y redujeron su actividad de excavación (figura 17) (Browne et al., 2013).



Figura 17. Reducción de actividad de excavación de la lombriz de tierra al verse afectada por MPs.
<https://quo.eldiario.es/ciencia/a69495/marte4>

En el caso de los mamíferos, se realizaron estudios con ratones en periodo de gestación y fueron expuestos a MPs. Los resultados mostraron una disminución en el tamaño de las crías debido a una menor transferencia de nutrientes a través de la placenta (Pérez-Reverón et al., 2023). En estudios con roedores también se ha

demostrado el efecto significativo en la reproducción y metabolismo que presenta el bisfenol A (BPA) dando lugar a una madurez sexual precoz, incrementa la resistencia a la insulina, lo que puede conducir al desarrollo de diabetes (Tamayo Cabarcas et al., 2022).

3.3. Efectos nocivos de los MPs y NPs en el ser humano.

En la figura 18 se muestra como los MPs y NPs pueden llegar al ser humano a través de distintas vías como la ingestión, inhalación y a través de la piel (Navarro-Espinoza et al., 2023).

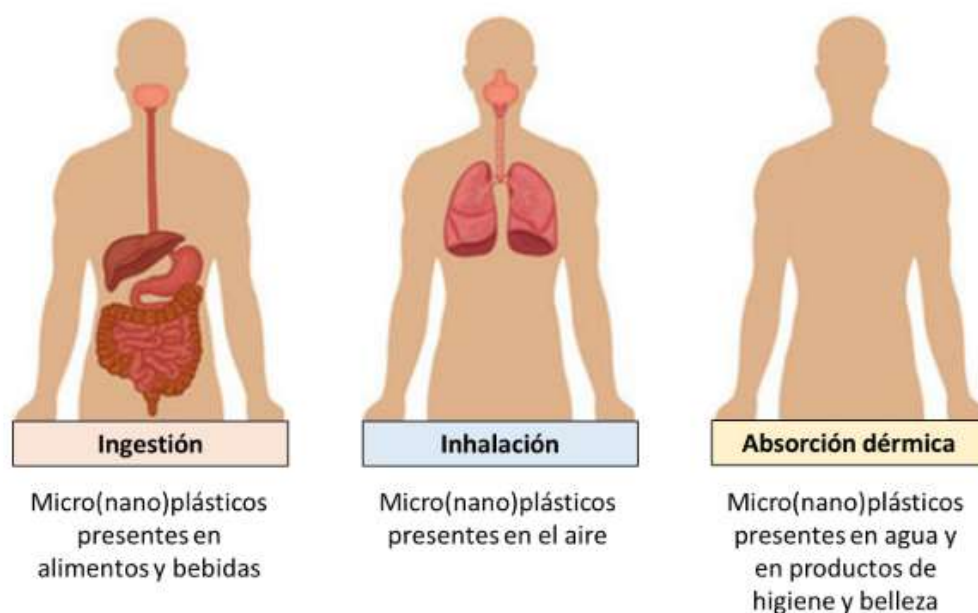


Figura 18. Distintas formas en las que el ser humano puede estar expuesto a MPs y NPs (Navarro-Espinoza et al., 2023).

- a) **Ingestión:** La vía de entrada más común en la que se está en contacto con estas partículas es el tracto gastrointestinal ya que pueden estar presentes en el alimento debido a que previamente el animal halla ingerido este tipo de partículas y se introduzca en la cadena trófica hasta llegar al ser humano (Navarro-Espinoza et al., 2023). Los envases en los que se conservan los alimentos también tienen presencia de estas partículas y están constituidos por plásticos, partículas que se transfieren al alimento como es el ejemplo del agua embotellada, esta con el paso del tiempo se degrada pasando estas

partículas al agua por ello no se aconseja reutilizar las botellas. La mayoría de estos MPs u NPs se desechan en las heces y pueden ser detectados en estas (Navarro-Espinoza et al., 2023).

- b) Inhalación: Los MNPS pueden transportarse de un medio a otro con facilidad a través del aire, pueden proceder de fibras sintéticas, degradación de residuos plásticos, tejidos y neumáticos. Esta exposición involuntaria conlleva que se pueda detectar este tipo de partículas en el pulmón lo que afecta a el sistema respiratorio (Navarro-Espinoza et al., 2023).
- c) A través de la piel: Es el caso menos común pero estas partículas pueden llegar a introducirse en el organismo a través de contacto con una herida, glándulas sudoríparas o folículos pilosos. Este tipo de partículas pueden llegar al ser humano a través del uso de los productos de cuidado de la piel y maquillaje (Navarro-Espinoza et al., 2023).

La exposición a MPs y NPs por parte del ser humano puede afectar a los siguientes órganos provocando una serie de alteraciones (ver figura 19) (Winiarska et al., 2024).

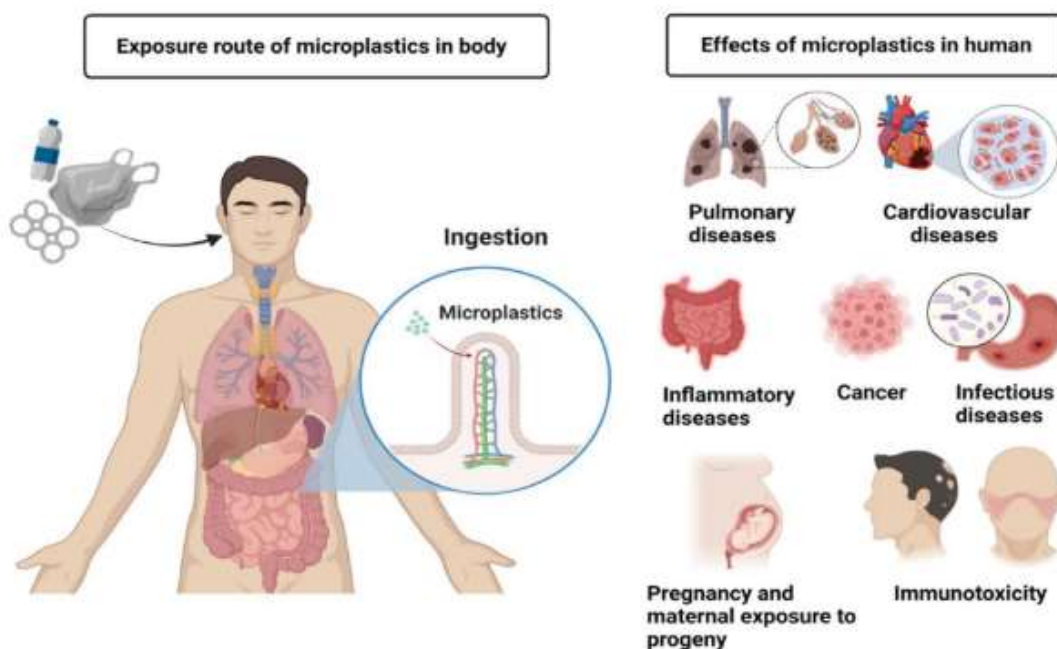


Figura 19. Enfermedades causadas por MPs en el ser humano (Osman et al., 2023).

- a) Piel: Presencia de casos en personas que al contacto con el plástico o empleo de material constituido de este material como los guantes les provoca reacciones alérgicas. Además, ciertos aditivos presentes en el plástico daban lugar a alergia como el bisfenol A (Winiarska et al., 2024). Este aditivo tiene la capacidad de transferirse de un envase que contiene un alimento o bebida a este y altera el metabolismo y hormonas sexuales afectando la reproducción (Tamayo Cabarcas et al., 2022).
- b) Tracto gastrointestinal: Los efectos más comunes que puede llegar a desencadenar los NPs y MPs en el ser humano es el cáncer sobre todo el cáncer colorrectal y el cáncer de páncreas aumentando el número de la mortalidad y enfermedad intestinal inflamatoria ante esta enfermedad cabe la posibilidad de desarrollar fármacos (Winiarska et al., 2024). Respecto a la afectación en microbiota no existe mucha variedad de estudios en humanos sin embargo si se han realizado ensayos en ratones en los cuales se observó una pérdida de peso y acumulación de aditivos (Winiarska et al., 2024).
- c) Sistema respiratorio: La exposición al estireno puede llegar a provocar cáncer de pulmón y asma, aunque no hay estudios aplicados en el ser humano, pero si en ratones, en este estudio se observó un aumento del cáncer de pulmón (Winiarska et al., 2024). Por lo que personas que estén en contacto con este material pueden llegar a desarrollarlo. También personas que han tenido en contacto en su trabajo con el PET, hay estudios sobre el desarrollo de neumonitis por hipersensibilidad (Winiarska et al., 2024). Se han observado que también los neonatos pueden verse afectados por la exposición a BPA dando lugar a la hora del nacimiento presenten bajo peso y asma (Winiarska et al., 2024).
- d) Efectos neurológicos: En el sector del plástico debido a un continuo contacto con el estireno muchos trabajadores hay sufrido efectos como dolor de cabeza y mareos. Aunque muchos estudios han establecido que puede haber una conexión entre los MPS y NPs con efectos neurológicos aún no hay suficientes estudios para verificarlo (Winiarska et al., 2024).

- e) Reproducción: Actualmente no hay muchos estudios en el ser humano sobre la reproducción, pero sí se han aplicado a animales como es el caso de estudios aplicados a un nematodo *eCaenorhabditis elegans* se contempló la disminución del tamaño de sus crías (Winiarska et al., 2024). En el caso de los mamíferos, los MPs son capaces de atravesar la placenta y acumularse en otros tejidos (Winiarska et al., 2024)
- f) Sistema cardiovascular: La probabilidad de padecer enfermedades cardiovasculares está asociado a factores como el tabaco o tiempo de dieta, pero además una exposición a MPs y NPs puede llegar a afectar la velocidad sanguínea y la frecuencia cardíaca dando lugar a trombosis y la coagulación de la sangre ya que los MPs tienen la capacidad de acumularse en el sistema circulatorio (Zhu et al., 2023). Dependiendo del tamaño de la partícula va a alcanzar unas u otras zonas del sistema cardiovascular desde vasos sanguíneos hasta células, diversos estudios in vitro han demostrado que los MPs son capaces de producir hemólisis en células humanas (Winiarska et al., 2024).

Una investigación en el cual se ha aplicado la espectroscopia microscópica visual ha detectado la presencia de MPs en distintos órganos como pulmones, intestino y placenta humana además la aplicación de la cromatografía de gases de pirólisis-espectrometría de masas (Py-GC/MS) se ha empleado para estudiar cómo se distribuyen estas partículas en distintos órganos como el hígado y cerebro en humanos después del fallecimiento (Nihart et al., 2025). A continuación, se tomaron muestras de estos órganos obteniendo como resultado concentraciones elevadas de MPs y NPs en hígado y riñón, cabe recalcar que el polímero que mayoritariamente se acumuló en el cerebro fue el polietileno (PE), otros polímeros como el polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo (PVC) aumento su concentración en el hígado y cerebro. Además, muestras de cerebro de fallecidos que habían presentado alzhéimer presentó incluso una concentración mayor de estos polímeros (Nihart et al., 2025). Una limitación que se presentó fue que debido al pequeño tamaño de estas partículas no se pudo proceder a su observación a través de microscopía óptica por lo que se empleó la microscopía electrónica de transmisión

(MET) (Nihart et al., 2025). Actualmente no hay conocimiento suficiente para justificar como los MPs y NPs son capaces de trasladarse y ser absorbidos por distintos órganos por lo que se debe seguir con el estudio del efecto de estas partículas principalmente en el cerebro humano (Nihart et al., 2025).

Por otro lado, varios estudios han detectado la presencia de MPs en tejidos humanos, específicamente en el endometrio, una capa del útero fundamental para la reproducción y la fertilidad. Aunque gran parte de las investigaciones sobre los efectos de los MNPs se han centrado y aplicado en animales, estudios recientes sugieren que la exposición y acumulación de estas partículas en el endometrio humano podría provocar adelgazamiento de esta capa y anomalías en su estructura (ver figura 20) (Sun et al., 2024).

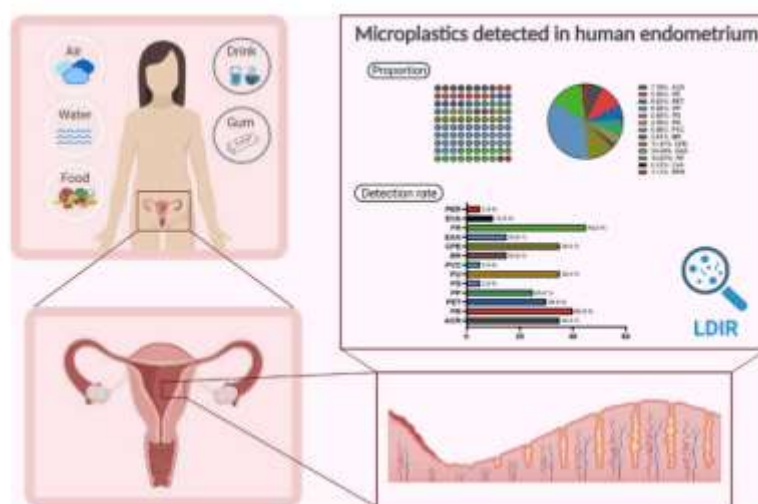


Figura 20. Detección y cuantificación de MPs en el endometrio humano mediante LDIR (Sun et al., 2024).

4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE MPs.

Existen varias técnicas que permiten la observación de MPs, a través de la microscopía electrónica de transmisión (TEM), la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microscopía de vídeo de células vivas se pudo observar la ingestión del poliestireno por las células, en su interior se puede observar en la figura 21 estructuras de forma redonda de color gris claro (Adler et al., 2024).

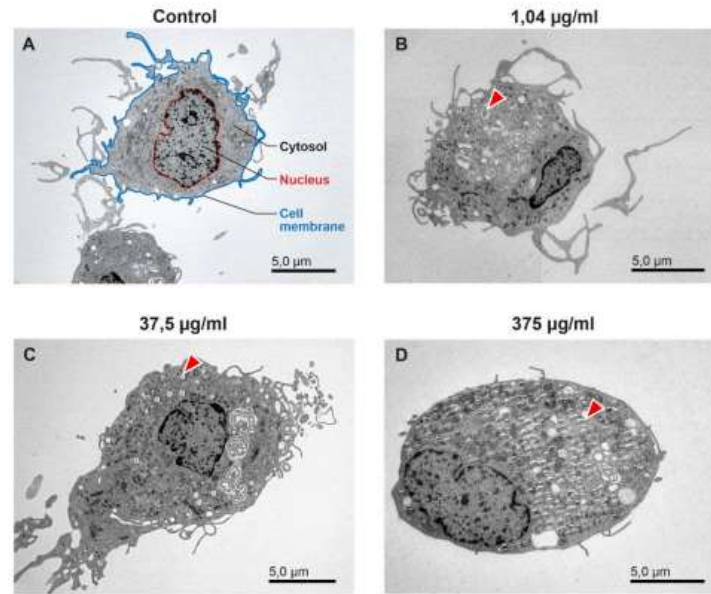


Figura 21. Imagen de TEM en la cual se indica con flechas el poliestireno (Adler et al., 2024).

Algunos trabajos se han aplicado la espectroscopía infrarroja directa con láser (LDIR) la cuál es una técnica que consta de un láser que permite identificar partículas de forma rápida en tejidos. Por lo que el objetivo principal es detectar la presencia de MPs en el endometrio de tamaño comprendido entre 20-500 μm y los tipos de estos MPs (Sun et al., 2024).

Como resultado final se procedió a la clasificación e identificación de las partículas MPs en función del tamaño y los tipos más frecuentes de partículas detectadas, en función del tamaño se clasificó en tamaño grande aquellas partículas comprendidas entre 100 a 500 μm y tamaño pequeño aquellas partículas comprendidas entre 20 a 100 μm (Sun et al., 2024). En base a los tipos de MPs que más se han detectado fueron el copolímero de etileno y ácido acrílico, polietileno clorado, polietileno y el copolímero de acrilato (Sun et al., 2024).

En conclusión, se dedujo que la presencia de estas partículas en las muestras de endometrio estaba relacionada con los hábitos de consumo de las mujeres participantes en el estudio. Específicamente, se asoció con el consumo de té con leche, ingesta de bebidas carbonatadas, hábito de masticar chicle y consumo de alcohol (Sun et al., 2024).

Otros métodos aplican técnicas basadas en microscopía óptica para detectar e identificar partículas procedentes del plástico (Soliz et al., 2024). Esta identificación de manera visual permite diferenciar el plástico de la materia orgánica (Soliz et al., 2024). Entre ellas la microscopía electrónica de barrido (MEB) proporciona información sobre la morfología y tamaño de los MPs (Soliz et al., 2024).

Es posible la combinación de tres técnicas como la reflectancia total atenuada junto con espectros de absorción infrarrojo (FTIR-ATR), microscopía óptica de tinción y microscopía óptica de barrido (SEM) (Soliz et al., 2024). A través de esta combinación, es posible identificar y diferenciar varios tipos de polímeros como LDPE, HDPE, PS, ect (Soliz et al., 2024). En concreto, la técnica (FTIR-ATR) va a diferenciar cada polímero ya que cada tipo presenta una banda característica en el infrarrojo, obteniendo diferentes espectros (ver figura 22) (Soliz et al., 2024).

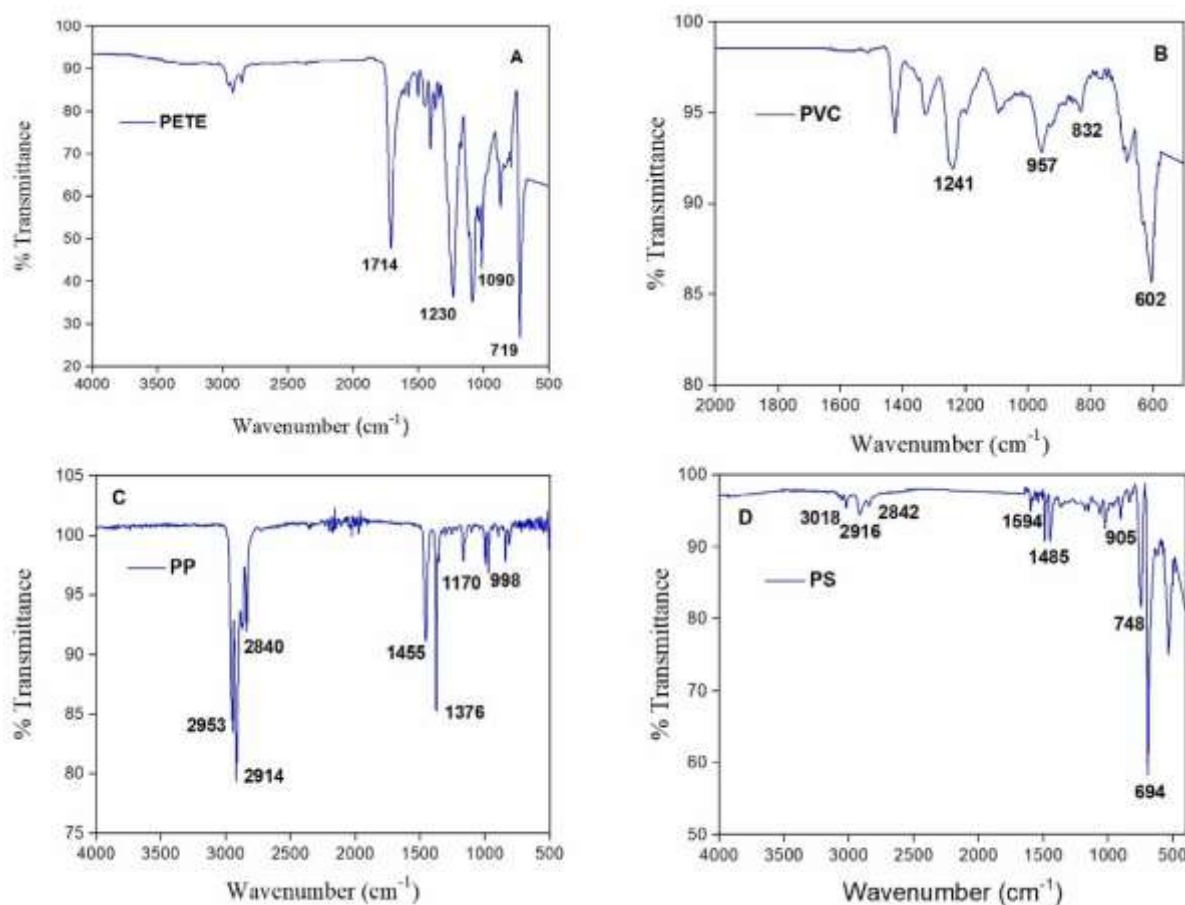


Figura 22. Espectro infrarrojo característico para cada tipo de polímero (Soliz et al., 2024).

5. FORMAS DE RETIRAR EL PLÁSTICO DEL MEDIO Y SU RECICLAJE.

5.1. Biodegradación.

Algunos microorganismos han sido utilizados para la degradación de los MPs, la acción microbiana tiene la capacidad de disminuir la presencia del plástico en una serie de etapas que se muestran en la figura 23 (Lv et al., 2024).

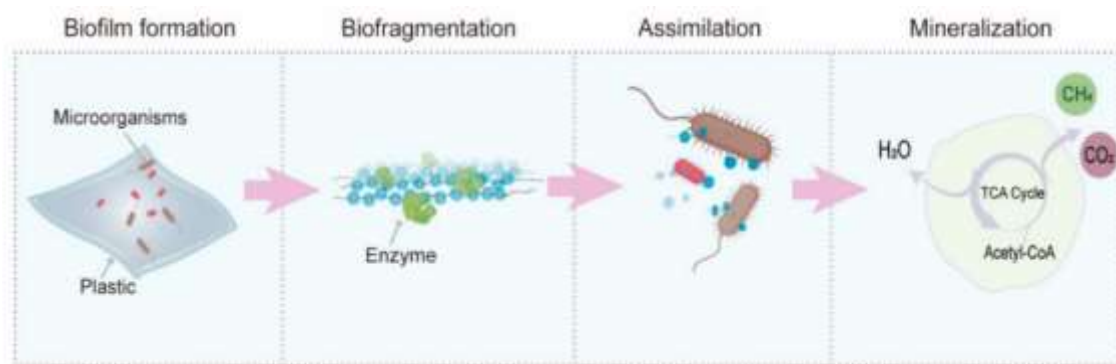


Figura 23. Reducción del plástico por acción microbiana (Lv et al., 2024).

1. Biodeterioro: Los microorganismos se unen a la superficie del plástico dando lugar biopelículas (Lv et al., 2024).

2. Fragmentación: De la biopelícula se segregan enzimas que van a provocar la ruptura del polímero en oligómeros que se oxidan en presencia de oxígeno dando lugar a grupos que presentan oxígeno (Lv et al., 2024).

3. Asimilación: Los oligómeros son asimilados por los microorganismos (Lv et al., 2024).

4. Mineralización de los oligómeros dando lugar a dióxido de carbono, agua y metano (Lv et al., 2024).

La acción de bacterias u hongos como las *Pseudomonas* y *Aspergillus Níger* son útiles para degradar el polietileno sobre todo el polietileno de baja densidad en un alto porcentaje (Rabelo Florez RA, 2022).

Entre ellas, destaca la *Pseudomonas aeruginosa* aislada del intestino de gusanos da lugar a la pérdida de peso en plásticos como PET, PS y PP (ver figura 24). La

bacteria *Pseudomonas rhodesiae* es capaz de modificar la estructura del polietileno de alta densidad (Lv et al., 2024).



Figura 24. *Pseudomonas aeruginosa*. <https://prevent-and-protect.com/pathogen/pseudomonas-aeruginosa-en/>

Los hongos pueden crecer y desarrollarse en zonas donde no pueden llegar otros microorganismos, varios hongos marinos como *Aspergillus* sp provoca la pérdida de peso en el polietileno. Las algas producen enzimas que degradan el plástico como la *Uronema africanum* degrada el polietileno de baja densidad (Lv et al., 2024).

5.2. Enzimas.

El PET se puede degradar por acción de las enzimas acelerando así su degradación natural, la enzima petasa actúa transformando el PET en dos ácidos, el ácido mayoritario se denomina MHET mientras que el minoritario se denomina BHET y TPA siendo subproductos (Zhang et al., 2022).

A continuación, una segunda enzima denominada mhetasa actúa sobre el ácido MHET dando lugar a los productos como etilenglicol y TPA siendo estos los monómeros los cuáles se reciclan (Zhang et al., 2022).

La degradación del polietileno se basa en la acción de enzimas como la lacasa y peroxidasa las cuáles convierten las cadenas del polímero en oligómeros hasta llegar a un alcano. A continuación, el alcano se le va a adicionar un grupo hidroxilo por acción de la monooxigenasa y el alcano que contiene el grupo hidroxilo se

convierte en un ácido graso por la acción del alcohol y aldehído deshidrogenasa, finalmente los ácidos grasos producidos se convierten en acetil-CoA (ver figura 25) (Lv et al., 2024).

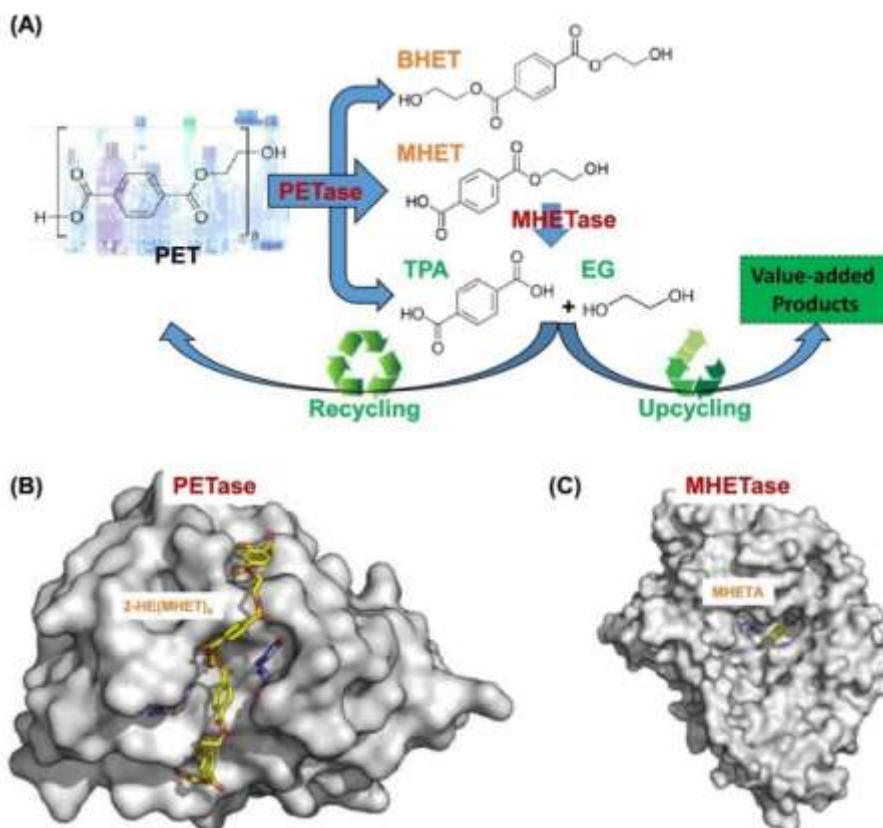


Figura 25. Degradación del PET por la acción de enzimas petasa y mhetasa (Zhang et al., 2022).

5.3. Termólisis.

Una posible alternativa para el reciclaje es volver a convertir el polímero en correspondiente monómero para luego proceder a obtener el mismo polímero o transformarlo en otro compuesto (Zhang et al., 2022). Se basa en la separación de la estructura del polietileno o poliestireno a alta temperatura y presión obteniendo como resultado un compuesto de menor tamaño. Para reducir el tiempo se puede usar conjuntamente con la pirólisis térmica que se basa en la degradación de los compuestos aplicando altas temperaturas sin la presencia de oxígeno. Sin embargo, este proceso da como resultado más contaminación siendo perjudicial para el medio (Zhang et al., 2022).

5.4. Polímeros biodegradables.

Una buena opción para sustituir a los plásticos que tardan mucho en degradarse son los plásticos biodegradables causando menor impacto en el medio siendo una buena alternativa para evitar la contaminación, sobreproducción de plástico no degradable disminuyendo la presencia de desechos en el medio, aditivos y afectación a fauna, flora y ser humano. Muchos de ellos pueden ser polímeros derivados de proteínas, polímeros basados en el colágeno son duraderos y se pueden emplear en medicina, envases de alimentos y cosméticos (Rydz et al., 2024).

Los polímeros biodegradables se diferencian de los polímeros obtenidos a partir del petróleo en que proceden de biomasa renovable, este tipo de biopolímeros están creados para que se descompongan en un compostador industrial, se espera así que se reduzca la emisión de dióxido de carbono, pero esta emisión no va a ser cero (Thompson et al., 2009).

La degradación es lenta puede tardar alrededor de 90 días en perder biomasa alrededor de 5-6%. Los beneficios de estos polímeros solo se pueden aprovechar si se aplica el sistema de compostaje para obtener pasado un tiempo un compost y poder aprovechar este producto (Thompson et al., 2009). Este tipo de polímeros ofrecen algunas soluciones para gestionar mejor los residuos, pero aún están limitados y se necesitan más estudios para poder obtener polímeros cuya descomposición sea más rápida (Thompson et al., 2009).

Un ejemplo de polímero biodegradable es el ácido poliláctico (PLA), el cual se obtiene a través del proceso de fermentación (figura 26) (Narancic & O'Connor, 2019). Su uso más habitual es en embalaje, a pesar de que se tiene conocimiento acerca de los microorganismos que pueden degradarlo, este polímero biodegradable tiene un inconveniente y es que se degrada bien en presencia de compostaje, pero su degradación en el suelo es lenta (Narancic & O'Connor, 2019).

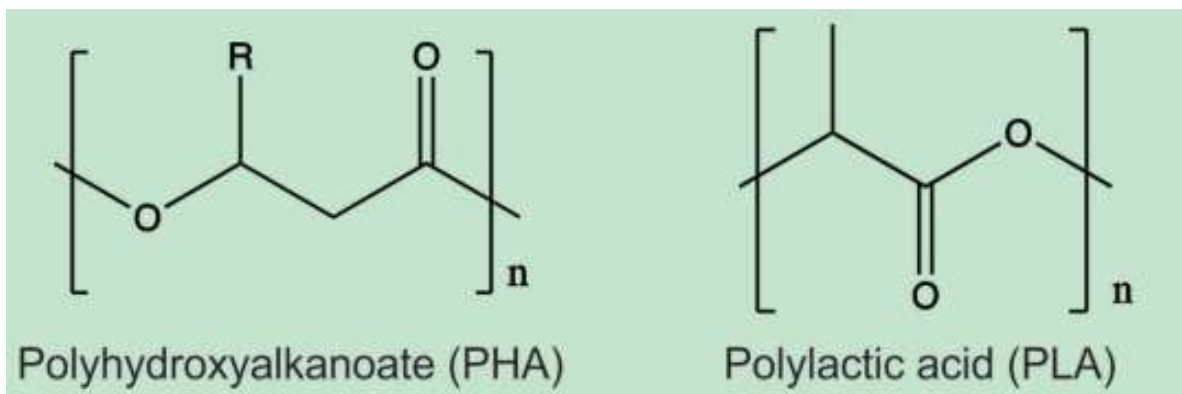


Figura 26. Estructura del ácido poliláctico y polihidroxialcanoato (Narancic & O'Connor, 2019).

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son poliésteres, los cuáles son almacenados por bacterias sometidas a estrés (Narancic & O'Connor, 2019). Para la degradación de este tipo de polímero biodegradable se emplean las enzimas denominadas despolimerasas (Narancic & O'Connor, 2019). Por último, como ventaja presenta una degradación favorable en el suelo y lodos (Narancic & O'Connor, 2019).

6. PERSPECTIVAS FUTURAS Y CONCLUSIÓN.

El plástico representa una amenaza tanto para los organismos vivos, el ser humano y el medio ambiente debido a su acumulación y degradación en partículas más pequeñas como NPs y MPs incorporándose a la cadena trófica, acumulándose en órganos o tejidos además de la liberación de aditivos y contaminantes provoca efectos que son perjudiciales afectando a la reproducción, estrés oxidativo, cáncer, etc.

La mayor parte de la información obtenida se centra en el océano, que en otros medios como medios de agua dulce como ríos o lagos y medios terrestres. Tal vez esta falta de información puede deberse a que la matriz del suelo sea más compleja para estudiar y determinar la presencia de MPs en él, así como los efectos que se producen en los seres vivos de estos medios.

Ante esta situación de elevada contaminación deben tomarse medidas como presentar más concienciación a la sociedad para que se tenga información del daño que se puede provocar si no se hace un desecho adecuado del plástico tanto dentro del hogar y en el día a día como en la industria, así como reducir su uso y reciclaje.

También se puede emplear el uso de la tecnología para limpieza en los medios, así como desarrollar alternativas a este material que no provoquen impacto en el medio y sean biodegradables como el uso de polímeros biodegradables o incluso se acelere la degradación como el empleo de la acción microbiana, hongos y enzimas.

La acción continua de estas actividades puede disminuir el impacto del plástico en el medio si no se introducen en la sociedad se espera un futuro no prospero ni para el medio, organismos vivos e incluso el ser humano debido a la elevada contaminación y afectación.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Adler, M. Y., Issoual, I., Rückert, M., Deloch, L., Meier, C., Tschernig, T., Alexiou, C., Pfister, F., Ramsperger, A. F., Laforsch, C., Gaipf, U. S., Jüngert, K., & Paulsen, F. (2024). Effect of micro- and nanoplastic particles on human macrophages. *Journal of Hazardous Materials*, 471. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134253>
- Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., & Bhupalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. In *Progress in Earth and Planetary Science* (Vol. 8, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4>
- Astorga-Pérez, A., Ulate-Naranjo, K., & Abarca-Guerrero, L. (2022). Presencia de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino las Baulas. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5466>
- Balart Gimeno, nombre, Antonio, R., García, M., & Martínez, I. (2024). *Reacciones de polimerización*.
- Beltrán. (2011). *TEMA 1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS*.

- Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2013). Supplemental Information Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. In *Current Biology* (Vol. 23).
- Buteler, M. (2019). EL PROBLEMA DEL PLÁSTICO ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? *Medio Ambiente*, 16, 56–60.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/109678/CONICET_Digital_Nro.9fbc68cb-0eb2-4000-b7f6-ac241af6e3f0_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Caillol, S. (2021). Special Issue “Natural Polymers and Biopolymers II.” In *Molecules* (Vol. 26, Issue 1). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010112>
- Chediek, J. da S. R. G., & Muliterno, T. (2023). La contaminación por plásticos en el mar: notas sobre la regulación jurídica internacional, europea y española. *Revista de Derecho*, 28. <https://doi.org/10.22235/rd28.3079>
- Dube, E., & Okuthe, G. E. (2023). Plastics and Micro/Nano-Plastics (MNPs) in the Environment: Occurrence, Impact, and Toxicity. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 20, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/ijerph20176667>
- Escobar Condor, E. W., Izquierdo Villasante, Y., Macedo Riva, A., Remuzgo Panduro, G., & Huiman Cruz, A. (2019). Impact of the Ingestion of Plastic Waste in Fish. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 2019(4), 79–92. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.004>
- García Fernández-Villa, S., San, M., & Moya, A. (2002). *Idea Criterios y Métodos*.
- Ignacio Fernández. (2020). *LA MAR DE PLÁSTICO Resumen*. 235–251.
- Khan, M. L., Hassan, H. U., Khan, F. U., Ghaffar, R. A., Rafiq, N., Bilal, M., Khooharo, A. R., Ullah, S., Jafari, H., Nadeem, K., Siddique, M. A. M., & Arai,

- T. (2024). Effects of microplastics in freshwater fishes health and the implications for human health. *Brazilian Journal of Biology*, 84.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.272524>
- Leroy G.Wade, J. (2017). *Química orgánica 1* (Fonseca Sergio & Palau Alan David, Eds.; Novena, Vol. 1).
- Liliana Montero Rodríguez, C., & Megías Barragán, F. (2008). *Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central Resumen*.
<http://www.salobillarpool.com/xprepository/bi->
- Lv, S., Li, Y., Zhao, S., & Shao, Z. (2024). Biodegradation of Typical Plastics: From Microbial Diversity to Metabolic Mechanisms. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25010593>
- Megill, C., Shaw, K., Knauer, K., Seeley, M., & Lynch, J. (2024). Plastic additives in the ocean: Use of a comprehensive dataset for meta-analysis and method development. In *Chemosphere* (Vol. 358). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142172>
- Mier, J. L., Artiaga, R., García, L., De Construccions, O., & Ferro, N. E. P. S. (1997). *Síntesis de Polímeros. Pesos moleculares. Conformación y configuración INTRODUCCIÓN*.
- Narancic, T., & O'Connor, K. E. (2019). Plastic waste as a global challenge: Are biodegradable plastics the answer to the plastic waste problem? In *Microbiology (United Kingdom)* (Vol. 165, Issue 2, pp. 129–137). Microbiology Society. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000749>
- Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M. A., & Grijalva-Noriega, F. J. (2023). Micro(nano)plásticos en el medio ambiente: una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. *EPISTEMUS*, 18(35).
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i35.311>

- Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, P. G. C., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: A review. In *Cleaner Materials* (Vol. 11). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
- Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F., Gullapalli, R. R., Howard, T., Bleske, B., Scott, J., Gonzalez-Estrella, J., Gross, J. M., Spilde, M., Adolphi, N. L., Gallego, D. F., Jarrell, H. S., Dvorscak, G., Zuluaga-Ruiz, M. E., ... Campen, M. J. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*.
<https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P. S., Wu, Y. S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 21, Issue 4, pp. 2129–2169). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
<https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
- Pérez-Reverón, R., Álvarez-Méndez, S. J., González-Sálamo, J., Socas-Hernández, C., Díaz-Peña, F. J., Hernández-Sánchez, C., & Hernández-Borges, J. (2023). Nanoplastics in the soil environment: Analytical methods, occurrence, fate and ecological implications. *Environmental Pollution*, 317.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120788>
- Rabelo Florez RA. (2022). Bacterias y hongos utilizados en la biodegradación de hidrocarburos: Una Revisión de literatura y Análisis Bibliométrico. *Revista EIA*.
- Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? In *Environmental Science and Technology* (Vol. 46, Issue 12, pp. 6453–6454).
<https://doi.org/10.1021/es302011r>
- Rydz, J., Sikorska, W., & Musioł, M. (2024). Biosynthesis and Biodegradation—Eco-Concept for Polymer Materials. In *International Journal of Molecular*

Sciences (Vol. 25, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25052674>

Sáenz-Arias, S., Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T. L., Blandon, L., Espinosa Díaz, L. F., Vivas-Aguas, L. J., & Canals, M. (2023). Pollution by wastewater discharges: A review on microorganism-microplastic interactions and their possible environmental risks in Colombian coastal waters. In *Ecosistemas* (Vol. 32, Issue 1). Asociacion Espanola de Ecologia Terrestre. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>

Soliz, D. L., Paniagua González, G., Muñoz-Arnanz, J., Bravo-Yagüe, J. C., Fernández Hernando, P., & Garcinuño Martínez, R. M. (2024). Identification and morphological characterization of different types of plastic microparticles. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30749>

Speight, J. G. (2011). Monomers, Polymers, and Plastics. *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes*, 499–537. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8632-7.10014-3>

Sun, J., Sui, M., Wang, T., Teng, X., Sun, J., & Chen, M. (2024). Detection and quantification of various microplastics in human endometrium based on laser direct infrared spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167760>

Surendran, U., Jayakumar, M., Raja, P., Gopinath, G., & Chellam, P. V. (2023). Microplastics in terrestrial ecosystem: Sources and migration in soil environment. *Chemosphere*, 318, 137946. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.137946>

Tamayo Cabarcas, F., Agaméz Fuentes, J., Aparicio Marengo, D., & Márquez Lázaro, J. (2022). Bisfenol a y efectos de disrupción endocrina en humanos y animales: Revisión sistemática. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2). <https://doi.org/10.22490/21456453.4691>

- Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S. V., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 364, Issue 1526, pp. 2153–2166). Royal Society.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A. D., Winther-Nielsen, M., & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- Winiarska, E., Jutel, M., & Zemelka-Wiacek, M. (2024). The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. In *Environmental Research* (Vol. 251). Academic Press Inc.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
- Yair Capilla -Juárez, U., Guzmán-Vargas, L., Huerta Barron, C., & Muñoz Ayala, S. (2024). MICROPLÁSTICOS EN LA MESA: EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN EN NUESTROS ALIMENTOS. *RD-ICUAP*, 10(28).
<https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2024.10.28.1241>
- Zhang, Y., Pedersen, J. N., Eser, B. E., & Guo, Z. (2022). Biodegradation of polyethylene and polystyrene: From microbial deterioration to enzyme discovery. *Biotechnology Advances*, 60, 107991.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2022.107991>
- Zhu, X., Wang, C., Duan, X., Liang, B., Genbo Xu, E., & Huang, Z. (2023). Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor? In *Environment International* (Vol. 171). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107662>