

## **El plástico, características y principales impactos. Su uso en la agricultura, recomendaciones para su manejo**

*Plastic, characteristics and main impacts. Its use in agriculture, recommendations for its management*

**Carmen Rosa Betancourt**

Universidad Nacional de Río Negro UNRN: Viedma, CP 8500, Río Negro, Argentina. Correo electrónico: [crbetancourt@unrn.edu.ar](mailto:crbetancourt@unrn.edu.ar). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7977-9517>

### **RESUMEN**

Es tal la influencia del plástico y su presencia en la sociedad y en los ecosistemas en general que la era actual en que vivimos se le ha llamado “la era del plástico”, o lo que algunos autores llaman el Plasticeno. Su comercialización a gran escala data de la segunda mitad del pasado siglo y con el decursar del tiempo fue incrementándose su producción y uso hasta alcanzar un estimado de 367 millones de toneladas en 2020. Sin embargo, las cifras recicladas son muy bajas, la falta de regulaciones, o en el mejor de los casos la deficiente aplicación de estas ha generado que sea considerado un contaminante emergente, que ha atrapado la atención de la comunidad científica. La incineración de los plásticos genera contaminación del aire e incrementa la concentración de los gases de efecto invernadero. Se ha planteado que para el 2050, el plástico podría emitir 56 mil millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero, tanto como el 14% del presupuesto de carbono restante de la Tierra. Los microplásticos y nanoplásticos, entran de las diferentes formas de vida, afectando a todos los ecosistemas, además de constituir un vehículo de transporte de otros contaminantes. La agricultura y en particular las industrias hortícolas se han convertido en grandes consumidores de plásticos en diferentes formas, que se usan en todas las fases del cultivo, alcanzando un consumo de 2.250.000 t/año. Debido al incremento acelerado de contaminación por plásticos en las diferentes matrices ambientales, será necesario en el futuro inmediato, elaborar propuestas basadas en tecnologías de reducción de materiales plásticos en las diferentes áreas productivas. Se trata de generar una cultura en los consumidores hacia la generación de cambios y revolucionar el concepto de Reducir, Reusar y Reciclar a uno de Rechazar, Adaptar y Exigir.

**Palabras clave:** microplástico, reciclado, ecosistema, salud humana

### **ABSTRACT**

The influence of plastic and its presence in society and ecosystems is so significant that the current era in which we live has been referred to as “the era of plastic,” or, as some authors call it, the Plasticene. Its large-scale commercialization dates back to the second half of the last century, and over time, its production and use have increased, reaching an estimated 367 million tons in 2020. However, recycling rates are very low, and the lack of regulations—or, in the best case, their poor enforcement—has led to plastic being considered an emerging pollutant, drawing the attention of the scientific community. The incineration of plastics generates air pollution and increases the concentration of greenhouse gases. It has been proposed that by 2050, plastics could emit 56 billion tons of greenhouse gas emissions, accounting for as much as 14% of the Earth's remaining carbon budget. Microplastics and nanoplastics enter various forms of life, affecting all ecosystems, and they also serve as transport vehicles for other pollutants. Agriculture, and particularly the horticultural industry, has become a major consumer of plastics in different forms, which are used in all phases of cultivation, reaching a consumption of 2,250,000 tons per year. Due to the rapid increase in plastic pollution across different environmental matrices, it will be necessary, in the near future, to develop proposals based on technologies for reducing plastic materials in various productive sectors. The goal is to foster a cultural shift among consumers toward generating change and revolutionizing the concept of "Reduce, Reuse, Recycle to one of "Reject, Adapt, and Demand.

**Keywords:** microplastic, recycling, ecosystem, human health

Recibido: 28-02-2025

Aceptado: 05-05-2025

Publicado: 10-05-2025

Autor de correspondencia: Carmen Betancourt  
[crbetancourt@unrn.edu.ar](mailto:crbetancourt@unrn.edu.ar)

**[Ciencia y Tecnología Agropecuaria \(e-ISSN: 2805-6604; p-ISSN: 1900-0863\)](#)**

## **Introducción**

Es tal la influencia del plástico en la sociedad y en los ecosistemas en general que la era actual en que vivimos se le ha llamado “la era del plástico”, o lo que algunos autores llaman el Plasticeno (Sbarbati-Nudelman, 2020). El plástico manufacturado data de hace más de 100 años (Gil et al., 2020). Más específicamente, comenzó a comercializarse a gran escala en la década del ‘50 del siglo pasado y desde entonces, los humanos han producido más de nueve mil millones de toneladas de desechos plásticos que han ingresado a los océanos, ríos y tierras naturales.

Su uso ha permitido a la sociedad hacer enormes avances tecnológicos y aunque se considera que son una invención moderna, siempre ha habido polímeros naturales como el ámbar, las conchas de tortuga y los cuernos de los animales. Estos materiales se comportaban de manera muy parecida a los plásticos fabricados en la actualidad y con frecuencia se usaban de forma similar a la forma en que actualmente se aplican los plásticos fabricados.

En la etapa del surgimiento del plástico, la tecnología experimentó una dramática evolución y la humanidad tenía una fe ciega en ella, esperando que el desarrollo de la tecnología resolviera todos nuestros problemas. Realmente los avances tecnológicos prometían un progreso creciente para la humanidad. En la misma época, el plástico comenzaba a ganar mercados, producto por producto, y por su practicidad, durabilidad y conveniencia, fue reemplazando al acero en autos, al papel y al vidrio en embalajes, a la lana y al algodón en la ropa, y a la madera en muebles. A partir de los años ‘70, se gestaron los primeros movimientos ambientalistas, generando por primera vez conciencia sobre los costos ambientales del progreso económico (Buteler, 2019).

La reputación del plástico también bajó en los años ‘70 y ‘80 a medida que aumentaba la preocupación por los residuos y la noción de que el plástico no se degrada. Esta es una de las principales preocupaciones, Por ejemplo, tarda más de 400 años en descomponerse, mientras que el estaño y el aluminio tardan entre 50 a 200 años (Gil et al., 2020). También resulta preocupante su degradación física y con ello su amplia dispersión en los ambientes, fundamentalmente en su cuerpo receptor final (los océanos). Sin embargo, la industria petroquímica introdujo el concepto del reciclado (3R: reducir, reducir y reciclar) que alivió un poco la tensión y el plástico siguió entre nosotros sumando usos, ya que, bajo cierta suposición generalizada, o asumida por la mayoría, todo el plástico se recicla, aunque más recientemente se propone cambios de estrategias diferentes al reciclado.

Un tema para tomar en cuenta es la cantidad de energía que se requiere para la producción de plástico a partir de petróleo crudo. Se estima que se requiere de 62 a 108 MJ/kg, una cantidad mucho mayor que la necesaria para producir muchos otros materiales, por ejemplo, el hierro (de mineral

de hierro) requiere 20-25 MJ/kg de energía, el vidrio (de arena, etc.) 18-35 MJ/kg, el acero (de hierro) 20-50 MJ/kg, el papel (de madera) 25- 50MJ/kg (Xiao, 2019).

En los años 50 se estimaba que la producción de plásticos era de 1,5 millones de toneladas, sin embargo, se ha registrado un incremento acelerado y la cifra en el año 2020 fue de 367 millones de toneladas en 2020 (Sa’adu y Farsang, 2023) y se prevé que en 2050 alcance los 33000 millones de toneladas (Persson et al., 2023). De manera general se puede plantear que los plásticos son sustancias versátiles, con propiedades que van desde resistencia a la corrosión, peso ligero, transparencia, hasta la flexibilidad y durabilidad.

Esta investigación está dirigida a ofrecer una revisión bibliográfica para revelar las características del plástico que lo han convertido en un contaminante emergente y sus principales impactos. También a revelar sus principales usos en la agricultura, lo cual contribuye a la contaminación de las diferentes matrices ambientales (agua, suelo y aire). Finalmente se ofrecen algunas recomendaciones para su manejo.

## **Materiales y métodos**

El presente artículo de revisión fue elaborado siguiendo un enfoque sistemático para garantizar la exhaustividad, la relevancia y la calidad científica de la información recopilada, analizada e interpretada.

A continuación, se describen detalladamente los pasos metodológicos seguidos:

### *Definición del tema y objetivos de la revisión*

Se estableció como objetivo principal realizar una revisión crítica y actualizada sobre las características del plástico, sus principales impactos ambientales y sociales, y su uso en la agricultura, destacando recomendaciones para su manejo sostenible.

Esta definición permitió precisar las palabras clave, las bases de datos a consultar y los criterios de inclusión y exclusión, orientando la búsqueda bibliográfica hacia los aspectos más relevantes y recientes de la temática.

### *Estrategia de búsqueda bibliográfica*

Se desarrolló una búsqueda bibliográfica estructurada utilizando palabras clave específicas en inglés y español, tales como plastic, environmental impacts, plastic in agriculture, agricultural plastics, plastic pollution, plastic waste management, entre otras.

Las búsquedas se realizaron en bases de datos académicas reconocidas a nivel internacional, incluyendo: Web of Science, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar (para acceso complementario).

La búsqueda se centró en artículos científicos publicados en revistas indexadas de prestigio internacional, priorizando publicaciones correspondientes a los últimos cinco años

(2020-2025), a fin de garantizar la actualidad y relevancia de los datos e interpretaciones.

*Criterios de inclusión*

- Artículos de revisión y de investigación originales relacionados con las características físicas y químicas de los plásticos.
- Estudios que analicen los impactos ambientales, económicos y sociales derivados del uso de plásticos.
- Publicaciones sobre aplicaciones específicas del plástico en sistemas agrícolas, incluyendo acolchados, invernaderos, riego por goteo, envases, entre otros.
- Documentos que propongan recomendaciones o estrategias de manejo, reciclaje, sustitución o reducción del uso de plásticos en contextos agrícolas.

*Criterios de exclusión*

- Artículos no sometidos a revisión por pares.
- Estudios focalizados exclusivamente en aspectos industriales o médicos del uso del plástico, sin relación con el sector agropecuario.
- Publicaciones en idiomas distintos al inglés y al español (dado el alcance lingüístico del equipo de investigación).

*Selección y análisis de documentos*

Tras la búsqueda inicial, se realizó una depuración manual, primero por títulos y resúmenes, y luego por lectura completa, seleccionando aquellos documentos que cumplían estrictamente con los criterios establecidos. Los artículos seleccionados fueron organizados en una base de datos para su análisis comparativo, clasificándolos según categorías temáticas: características del plástico, impactos ambientales, aplicaciones agrícolas y recomendaciones de manejo. Se realizó un análisis crítico de los resultados, identificando tendencias globales, vacíos de conocimiento, puntos de convergencia y divergencia entre estudios, y aspectos prioritarios para la toma de decisiones en contextos agrícolas.

*Síntesis y redacción del artículo*

La información recopilada fue organizada de manera lógica y coherente, destacando los aspectos centrales en torno a:

*Propiedades fisicoquímicas del plástico.*

- Principales impactos (contaminación, biodiversidad, salud, ciclo del carbono, etc.).
- Usos del plástico en la agricultura y sus implicaciones productivas y ambientales.
- Estrategias de manejo sostenible, incluyendo reciclaje, reutilización, sustitución por bioplásticos y mejoras en políticas públicas.

**Resultados**

*Composición y principales características de los plásticos*

Los tipos más comunes incluyen el tereftalato de polietileno (PET), el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo (PVC). Barbuzano-Guanche (2020) concuerda con los siguientes acrónimos para la denominación de los plásticos y realiza una clasificación de acuerdo con su tamaño (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación, características (según su composición y tamaño) y acrónimo de los plásticos.

| <b>Tipo de polímero plástico</b>           | <b>Acrónimo</b>          |
|--|--------------------------|
| Poliestireno                               | PS                       |
| Poliestireno expandido                     | EPS                      |
| Tereftalato de polietileno                 | PET                      |
| Poliuretano                                | PUR                      |
| Policloruro de vinilo                      | PVC                      |
| Polietileno de alta densidad               | HDPE                     |
| Polietileno de densidad media              | MDPE                     |
| Polietileno de baja densidad               | LDPE                     |
| Polietileno lineal de baja densidad        | LLDPE                    |
| Polipropileno                              | PP                       |
| Policarbonato                              | PC                       |
| Poli(metacrilato de metilo)                | PMMA                     |
| Resina de acrilonitrilo-butadieno-estireno | ABS                      |
| Tereftalato de polibutileno                | PBT                      |
| Politetrafluoroetileno                     | PTFE                     |
| Definición del término                     | Hasta la mayor dimensión |
| Nanoplásticos                              | 1 a <1000 nm             |
| Microplásticos                             | 1 a <1000 µm             |
| Mesoplásticos                              | 1 a <10 mm               |
| Macroplásticos                             | 1 cm y más grande        |

Fuente: Barbuzano-Guanche (2020).

Es fundamental tener en cuenta que, además de los componentes químicos básicos que conforman los plásticos —una compleja mezcla de monómeros poliméricos—, estos materiales incluyen una variedad de aditivos diseñados para modificar y optimizar sus propiedades funcionales. Entre estos aditivos se encuentran estabilizantes, retardantes de llama, plastificantes, pigmentos, antioxidantes y otros compuestos que reconfiguran sus características físicas, químicas y mecánicas.

Diversos estudios han documentado que una gran cantidad de contaminantes presentes en ambientes acuáticos, especialmente en los océanos —como los compuestos orgánicos persistentes (COPs) y los metales traza—, pueden adsorberse sobre las superficies plásticas. Este fenómeno incrementa notablemente la capacidad de los plásticos para

actuar como vectores de transporte de contaminantes a través de los ecosistemas marinos. Consecuentemente, el riesgo asociado al plástico no se limita únicamente a su presencia física, sino que se ve amplificado por su papel como portador de sustancias tóxicas, lo que representa un peligro considerable tanto para los organismos marinos como para la salud humana.

En particular, Sbarbati-Nudelman (2020) demostró que, con el paso del tiempo, los plásticos liberan al medio marino compuestos orgánicos adheridos a su superficie, incluyendo bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), dicloro-difenil-tricloroetano y sus metabolitos (DDTs), éteres de difenilo polibromados (PBDEs), alquilfenoles y bisfenol A, entre otros. La liberación progresiva de estas sustancias no solo exacerba la contaminación química en los ecosistemas acuáticos, sino que también eleva el potencial de bioacumulación y biomagnificación en las cadenas tróficas, generando impactos ecológicos y sanitarios de gran envergadura.

En la identificación del peligro de los plásticos son relevantes aspectos como tamaño, forma, color, origen, composición química y presencia de aditivos. Esta amplia gama de aditivos (agentes de carga, antioxidantes, retardadores de flama y plastificantes) tiene la función de lograr plásticos con muy diversas aplicaciones y propiedades. Estas sustancias añadidas incrementan la toxicidad del plástico, un ejemplo es el Bisfenol A (BPA) es un compuesto químico muy utilizado en la industria, este componente hace al plástico brillante y bonito. Se emplea como elemento y/o componente destinado a la fabricación de plásticos y resinas epoxi. Los plásticos y resinas producidas con BPA, se usa para la producción de recipientes con distintas aplicaciones, como puede ser; el envase de alimentos y bebidas, vajillas, papel térmico y dispositivos utilizados en el campo de la medicina, etc. También contienen Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) y ésteres del ácido ftálico (ftalatos) que son los agentes de plastificación más ampliamente utilizados por la industria del plástico. Entre éstos se encuentran el di(2etilohexilo) (FDEH), que más adelante trataremos su toxicidad (Mendocilla-García, 2014).

#### *Fuentes de exposición e impactos en el ambiente y la salud humana*

De todos los residuos plásticos que hemos producido desde el principio, sólo el 9% se recicló, el 12% se quemó y el otro 79% todavía se queda en algún lugar. Alrededor de 8 millones de toneladas de plástico acabarán cada año en el océano. Está en todas partes, los animales marinos, las aves y muchas otras criaturas siguen quedando atrapados en el plástico y tragándolo. Los organismos vivos pueden resultar dañados ya sea por efectos mecánicos, como enredarse en objetos de plástico o problemas relacionados con la ingestión de desechos plásticos, o por la exposición a sustancias químicas contenidas en los plásticos que

interfieren con su fisiología. En el epígrafe anterior hablamos del BPA y los plastificantes añadidos a los plásticos para modificar sus propiedades, ambas sustancias no son polimerizadas dentro de la matriz plástica y pueden desprenderse con el tiempo y el uso y emigrar al ambiente y así ocurre la exposición a humanos (Xu et al., 2011; Zhang et al., 2011).

Los seres humanos también nos vemos afectados por la contaminación plástica, por ejemplo, por la alteración de diversos mecanismos hormonales. La presencia de plásticos, en particular microplásticos (MP), dentro de la cadena alimentaria está aumentando. Se ha reportado MP en los intestinos de las aves marinas y desde entonces se han encontrado en concentraciones cada vez mayores. Los efectos a largo plazo del plástico en la cadena alimentaria no se conocen bien (Fackelmann et al. 2023).

La incineración de los plásticos, aumentan las emisiones de carbono; si se tira a un vertedero, se convierte en un sumidero de carbono, aunque los plásticos biodegradables han provocado emisiones de metano. En 2019 se publicó un nuevo informe "Plástico y Clima". Según el informe, el plástico aportará gases de efecto invernadero equivalentes a 850 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera en 2019. El uso de plásticos ha aumentado de manera constante desde la década de 1950, y la producción mundial aumentó en 79% entre 2000 y 2015. La producción global acumulada se triplicará en 2050 hasta alcanzar los 33 mil millones de toneladas y, en consecuencia, de residuos plásticos, se prevé que crezca más allá de la eficacia de las estrategias de mitigación (Persson et al., 2021).

El 80% del plástico del océano proviene de la tierra y la mayoría ingresa al océano a través de los ríos. La basura de los vertederos, calles y playas es arrastrada por la fuerza natural y llega a los océanos o ríos. O en algunas regiones, la gente simplemente arroja su basura directamente a los cursos de agua debido a una infraestructura deficiente de eliminación de basura. De hecho, el 90% de todos los residuos plásticos que llegan al mar a través de los ríos proceden de tan solo 10 ríos de Asia y África. Sólo el río Yangtze aporta 1,5 millones de toneladas de residuos plásticos cada año. Otras fuentes de plástico oceánico incluyen la industria pesquera y el transporte por el mar, etc (Zhang et al., 2022). Durante su viaje se romperán en pedazos mucho más pequeños a medida que sean erosionados por la luz del sol, el agua salada, las corrientes y las olas. Estas piezas de plástico tienen superficies rugosas y picadas y se acumulan en el fondo marino.

Un ejemplo de la gran contaminación por plásticos es la gran mancha de basura del Pacífico, es un remolino de partículas de desechos marinos en el centro-norte del Océano Pacífico. La recolección de plástico y basura flotante, que proviene principalmente de países de Asia, se encuentra a medio camino entre Hawai y California y se extiende sobre un área indeterminada de rango muy variable, dependiendo del

grado de concentración pelágica relativa excepcionalmente alta de lodos plásticos y químicos y otros escombros que han quedado atrapados por las corrientes del Giro del Pacífico Norte. A pesar de la imagen pública común de islas de basura flotante, su baja densidad (4 partículas por metro cúbico) impide su detección mediante imágenes de satélite, o incluso por navegantes o buceadores ocasionales en la zona. Consiste principalmente en un aumento de partículas suspendidas, a menudo microscópicas, en la columna de agua (Tuvo et al., 2023)

Menos del 10% del plástico producido a nivel mundial se recicla actualmente, lo que evidencia una profunda brecha entre la capacidad de reciclaje instalada y la creciente producción y consumo de plásticos. El reciclaje mecánico es, hasta el momento, la única tecnología ampliamente adoptada para el tratamiento a gran escala de residuos plásticos sólidos. Este proceso incluye varias etapas principales: primero, la eliminación de residuos orgánicos mediante lavado; posteriormente, la trituración, fusión y remodelación del polímero, que con frecuencia se mezcla con plástico virgen del mismo tipo para obtener un material con propiedades adecuadas para la fabricación de nuevos productos.

Sin embargo, el reciclaje mecánico enfrenta limitaciones significativas. La clasificación previa de los plásticos por tipo y calidad, necesaria antes del reciclaje, resulta costosa y demanda mucho tiempo; además, el proceso requiere grandes cantidades de energía y, en muchos casos, genera polímeros de calidad inferior en comparación con los materiales vírgenes. A esto se suma que las tecnologías actuales no son aplicables a todos los materiales poliméricos, lo que restringe aún más el potencial de recuperación. En efecto, sólo dos tipos de plásticos pueden ser recuperados mediante procesos mecánicos a gran escala: el poli (tereftalato de etileno) (PET) y los polietilenos, que representan aproximadamente el 9% y el 37% de la producción anual de plásticos, respectivamente.

Cabe señalar, además, que los datos reportados en la literatura científica sobre las tasas y capacidades de reciclaje de plástico son frecuentemente inconsistentes, e incluso a veces presentan narrativas divergentes. A pesar de los avances tecnológicos, la cantidad de plástico que realmente puede reciclarse sigue siendo extremadamente baja en comparación con los volúmenes producidos, que son considerablemente superiores a la demanda efectiva de materiales reciclados. Esta disparidad subraya la urgencia de repensar no solo los procesos de reciclaje, sino también los modelos de producción, consumo y gestión de residuos plásticos a nivel global.

Los MP flotan en nuestros océanos y son fácilmente devorados por todo tipo de vida marina. Viajarán por la cadena alimentaria y eventualmente llegarán a nuestros cuerpos. Como se ha dicho, los plásticos contienen sustancias químicas tóxicas que se utilizaron en la

producción de plástico, como BPA y di(2-etilhexil) ftalato (DEHP), que causan graves problemas de salud cuando se acumulan. Ocho de cada 10 bebés y casi todos los adultos tienen cantidades mensurables de ftalatos, un aditivo plástico común, en sus cuerpos. El Centro para el Control y Prevención de Enfermedades y Prevención estima que el 93% de los estadounidenses  $\geq 6$  años tienen síntomas detectables de niveles de BPA en orina (Calafat et al., 2008).

Diferentes estudios de laboratorio han demostrado que los nanoplásticos generan diversos tipos de efectos negativos sobre los peces que los consumen, ya sean los de vida libre, como los de acuicultura. Entre estos efectos destacamos los cambios comportamentales, alteraciones físicas o citotoxicidad. El tamaño de los MP origina diferentes efectos en el organismo de los peces, mientras los fragmentos diminutos de plástico generan alteración en el crecimiento y comportamiento de las larvas de peces pelágicos, los MP de mayor tamaño son responsables de alteraciones mecánicas del estilo del bloqueo intestinal (Kedzierski et al., 2023)

Otro impacto de los MP en la salud humana está relacionado con su llegada a las distintas fuentes de agua. Hoy en día, la resistencia a los antibióticos representa un grave problema de salud pública, debido a la creciente difusión de bacterias resistentes a los antibióticos en la población general, los animales y el medio ambiente con el fenotipo de resistencia extendido a varias clases de antibióticos (Tuvo et al., 2023). Esto se ha generado por el vertimiento de antibióticos a diferentes cursos de agua. Se han detectado genes de resistencia a los antibióticos en aguas superficiales, subterráneas y sedimentos, donde estas bacterias son abundantes, según investigaciones realizadas. Si bien esto se ha generado por el vertimiento de antibiótico a las aguas, los MP representan un sustrato ideal para la colonización de estas bacterias. Según estudios realizados, en la superficie de los MP se forman biopelículas, donde se facilita la transferencia horizontal de genes con la información de la resistencia a los antibióticos.

De esta manera la interacción de los MP con bacterias resistentes a los antibióticos los convierte en vectores para el transporte y propagación de las bacterias resistente, lo cual representa un peligro para el ambiente y la salud humana. Se requieren más estudios para comprender mejor la interacción de estos contaminantes con el medio ambiente, así como identificar sistemas de gestión eficaces para reducir el riesgo relacionado (Persson et al., 2021).

Hay múltiples formas para la llegada del plástico a nuestro cuerpo. Un porcentaje de personas trabajan en zonas donde están expuesto a un nivel de contaminación por plástico muy superior al resto. En el lugar de trabajo, la inhalación de las partículas suspendidas en el aire es la principal vía de exposición. Por ejemplo, los trabajadores de la industria textil sintética, de flocado y del cloruro/policloruro de vinilo son de los más expuestos a MP y se ha encontrado

trabajadores expuestos a MP de nylon, poliéster, poliuretano (PU), polio-60 lefina, acrílico y vinilo, en la de flocado nylon, poliéster, polietileno (PE) y polipropileno (PP). La exposición a MP en entornos laborales, como la impresión 3D, la fabricación de productos plásticos y en salones de uñas, revela una gama de concentraciones y efectos potenciales en la salud de los trabajadores. Estos efectos abarcan desde problemas respiratorios agudos hasta preocupaciones de salud crónicas, como enfermedades cardiovasculares (Almeida-Naranjo y Campos, 2023). Según estos autores, la mayoría de los estudios disponibles consultados por ellos, se han centrado en la presencia de MP en el medio ambiente natural, y existe falta de investigación específica sobre la toxicidad de estos materiales en trabajadores.

Otra fuente importante es el uso extensivo de productos a base de plástico en la preparación, almacenamiento y manipulación de alimentos. Se ha detectado la presencia de MP en la sal de mesa, en el agua embotellada, en el agua del grifo, y en alimentos, incluidos los pescados. Se ha estimado que consumir comida transportada en recipientes plásticos (fundamentalmente comida rápida), puede resultar que una persona ingiera entre 12 y 203 partículas de MP. Además, se ha informado que un individuo que consume una dieta estadounidense puede ingerir entre 39.000 y 52.000 partículas de MP procedentes de alimentos y bebidas cada año. Los bebés y los niños pequeños son más susceptibles a los posibles impactos de los micro y nanoplasticos que los adultos, lo que hace que su exposición a estas partículas y los riesgos para la salud asociados son una preocupación importante (Almeida-Naranjo y Campos, 2023).

En un estudio realizado se investigó la liberación de microplásticos y nanoplasticos de dos recipientes fabricados con diferentes tipos de plástico. A éstos le adicionaron en su interior agua desionizada y agua con ácido acético al 3% y lo sometieron a diferentes temperaturas (refrigeración, temperatura ambiente y calentamiento en un horno microonda). El calentamiento por hornos de microondas provocó la mayor liberación de MP y nanoplasticos y solo tres minutos después podrían liberarse hasta 4,22 millones de MP y 2,11 mil millones de partículas nanoplasticas de sólo un centímetro cuadrado de área de plástico.

La refrigeración y el almacenamiento a temperatura ambiente durante más de seis meses también puede liberar de millones a miles de millones de microplásticos y nanoplasticos. El experimento sugiere que la ingesta diaria estimada más alta fue de 20,3 ng/kg/día para los bebés que consumen alimentos procesados en el microonda.

El estudio in vitro realizado para evaluar la viabilidad celular mostró que los microplásticos extraídos y los nanoplasticos liberados del recipiente de plástico pueden causar la muerte de 76,70 y 77,18 % de las células de riñón embrionario humano a una concentración de 1000 µg/mL

después de una exposición de 48 y 72 h, respectivamente (Hussain et al., 2023). Los hallazgos encontrados por los autores antes mencionados sugieren que, a la edad de un año, los bebés pueden ingerir de 14.600 a 4.550.000 partículas de MP provenientes biberones de polipropileno y que las tetinas de caucho de silicona podrían provocar la ingestión de más de 0,66 millones de MP por un bebé de un año.

Los autores antes mencionados encontraron que la descomposición del plástico generalmente ocurre debido a la formación de grietas bajo una carga aplicada que favorece la hidrólisis. La liberación de partículas en el horno microonda, se ve favorecida por las ondas electromagnéticas que pueden penetrar el material plástico. Sin embargo, combinar los materiales plásticos con estabilizadores UV puede reducir potencialmente la liberación de partículas de plástico durante el calentamiento por microondas.

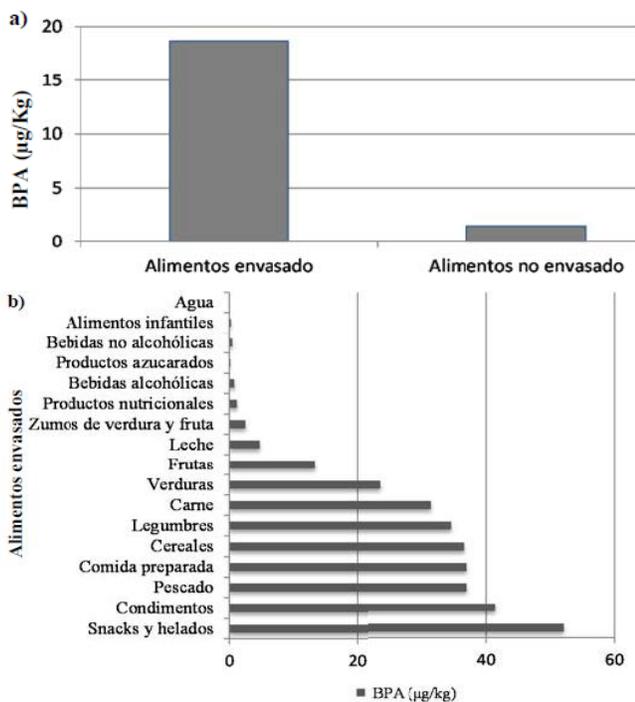
Otro estudio reveló que la descomposición de microplásticos de polietileno de alta densidad (HDPE) se produjo más rápidamente en condiciones ácidas (pH 3) que en condiciones neutras (pH 7) y básicas (pH 11). El elevado número de iones de hidrógeno en condiciones ácidas protona la cadena del polímero (Sun et al., 2024).

Para caracterizar el peligro de los plásticos sobre la salud humana, Barbuzano-Guanche (2020) considera que debe conocerse la toxicocinética (absorción, distribución, metabolismo y excreción) y toxicodinamia (mecanismo de acción) del contaminante, los posibles biomarcadores de exposición (es decir, cómo podemos medir la concentración del contaminante en el organismo) y la toxicidad observada en modelos o animales experimentales o aquella previsible (efectos tóxicos) en el individuo que se exponga al contaminante.

La autora antes mencionada consideró que el conocimiento sobre toxicocinética, toxicodinamia y toxicidad de los MP en el ser humano es escasa. Los datos toxicocinéticos disponibles abarcan absorción y distribución, pero hay escasos estudios sobre metabolismo y excreción. El tamaño de las partículas es un factor importante para determinar el alcance de la absorción de MP. Aunque hay falta de información sobre el comportamiento de los MP en el tracto intestinal se sabe que para determinados tamaños podría haber translocación a través del epitelio intestinal lo que permitiría distribución de los MP hacia órganos y tejidos. La absorción intestinal es baja, pero se sospecha que acceden al tejido linfático por fagocitosis o endocitosis. Hay escasos datos de absorción de MP en humanos, aunque diversos estudios han detectado en mamíferos micropartículas con un tamaño hasta 150 µm en la linfa, mientras que otro estudio detectó partículas de hasta 110 µm en la vena porta. También son escasos los estudios sobre el metabolismo y excreción, aunque cabe destacar la realización de un estudio en heces humanas que demostró la eliminación de MP con un tamaño de entre 50-500 µm por 10 g de heces.

En animales marinos se sabe que los MP provocan efectos tóxicos lo que conlleva a un aumento de mortalidad, reducción de masa corporal u metabolismo, cambios en comportamiento y fertilidad, neurotoxicidad y estrés oxidativo. Actualmente no hay ingestas de referencia y niveles máximos de exposición establecidos para ninguna de las moléculas de MP anteriormente señaladas y este podría considerarse el reto más inmediato de la seguridad alimentaria. La autora mencionada, asegura que, aunque se dispone de amplia bibliografía de la presencia de microplásticos en alimentos de origen marino, los estudios en alimentos no marinos son escasos. Sin embargo, hay estudios de la toxicidad de algunas sustancias presentes en los plásticos como el Bifenol A (disruptor endocrino en lo adelante DE) que se utiliza como aditivo en la producción de ciertos plásticos, principalmente policarbonatos y resinas epoxi y también en selladores dentales a base de resinas y adhesivos (Sáez-Cubero, 2024).

Sus niveles de producción mundial alcanzan cifras elevadas y en 2006 se registró una producción de 3'8 millones de toneladas (García et al., 2015). El BPA tiene diferentes maneras de alcanzar el organismo, vía oral, vía inhalatoria y vía cutánea. Las fuentes más importantes de exposición al BPA son a través de: la dieta, el agua, el polvo, el contacto con papel térmico, materiales dentales, y dispositivos o aparatos utilizados en medicina. Se ha demostrado que la comida y más en concreto la comida en conserva o enlatada es la fuente de exposición de mayor importancia (Figura 1).



**Figura 1.** Presencia de BPA en productos envasados y no envasados (a); Grupos de alimentos envasados donde se observan las concentraciones más relevantes de BPA (b)

presencia de BPA en otros alimentos no envasados Fuente: García et al. (2015).

Entre los alimentos no envasados las concentraciones de BPA más altas aparecieron en carne y pescado, con valores de 9,4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y 7,4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de BPA respectivamente. Es importante destacar que los efectos más graves de los DE, y por tanto del BPA, se han visto en niños de madres expuestas durante el embarazo y la lactancia, por ello muchos estudios se centran en la evaluación de la exposición prenatal y los efectos adversos en los niños.

La exposición prenatal al bisfenol A (BPA) se ha identificado como un factor disruptivo en procesos fundamentales de la neurogénesis, afectando el desarrollo adecuado del cerebro. De acuerdo con García et al. (2015), en estudios realizados con modelos animales se ha observado que el BPA provoca un aumento en el espesor de la capa externa de las células granulosas del cerebelo, lo que sugiere una alteración directa sobre las neuronas granulares y, en consecuencia, un potencial impacto negativo en el desarrollo normal de esta estructura cerebral. Asimismo, numerosos estudios han vinculado al BPA con la generación de estrés oxidativo, fenómeno que ocasiona daños al material genético.

Entre los efectos asociados a este compuesto se encuentran el desarrollo de cáncer, alteraciones en el crecimiento y funcionamiento neuronal, daño genético por la producción de especies reactivas de oxígeno, enfermedades metabólicas y cardiovasculares, así como afectaciones en el sistema reproductor, principalmente relacionadas con la disminución de la fertilidad. Si bien los autores mencionan que la dosis diaria estimada de exposición al BPA en la población general (para el año 2015) no representaba un riesgo significativo, advierten que las consecuencias podrían ser más pronunciadas en grupos poblacionales sensibles, especialmente aquellos expuestos durante la gestación y la lactancia.

También tratamos otra sustancia añadida a los plásticos con el fin de modificar sus propiedades, dicha sustancia son los Ftalatos, que están presentes cuando se trata de productos blandos que generalmente contienen cantidades considerables de estos agentes tóxicos. La potencialidad tóxica de éstos para los humanos fue siempre manejada como baja hasta el informe del National Toxicology Program, elaborado en 1982, donde se describió que el FDEH causa tumores en ratas y ratones, cuando se incluye en la dieta de estos animales (Bustamante et al., 2001). A partir de entonces gran cantidad de investigaciones se han realizado principalmente en animales de laboratorio.

Si durante el proceso de mezclado del PCV fundido y el plastificante, no existe una extracción adecuada de los vapores, el trabajador inhalará el ftalato. En cuanto a la población general, la exposición se da principalmente a través de la ingestión de residuos y plastificante en

alimentos, agua o por inhalación de aire contaminado con ftalatos. Exposiciones especiales pueden ocurrir también a través de algunos procedimientos médicos (transfusiones y hemodiálisis). La mayor fuente de exposición es por la vía de los alimentos, en general, los residuos de comida no exceden a 1 mg/kg de alimento, aunque las cantidades se elevan cuando los alimentos son grasos, como aceites, leche, quesos, carnes y pescados.

Otra forma de incorporación ocurre con los niños cuando mastican objetos suaves de plástico como mordederas, chupones o juguetes, que pueden desprender ftalatos. La magnitud de sus residuos depende del contenido de éste dentro de los recipientes y del material plástico de envoltura para la conservación o embalaje de los alimentos, además del tiempo en que se mantengan en estas condiciones y de la temperatura (Bustamante et al., 2001).

Un estudio más reciente (Andrades-Ayerra, 2020), reporta efectos tóxicos de los ftalatos en animales y humanos. El problema de la contaminación plástica es aún poco visible en la práctica veterinaria y que es necesario englobar la salud medioambiental, animal y humana como un conjunto para lograr un equilibrio global. Estos contaminantes pueden entrar en la cadena alimentaria a partir de la caza, pesca o los piensos de alimentación animal contaminados, aunque también pueden penetrar al organismo vía dérmica o inhalatoria. La autora señala que se ha demostrado que algunos de los químicos asociados, como el BPA o el DEHP, provocan toxicidad reproductiva, hormonal, cardíaca, hepática, neurológica y renal, además de jugar un papel clave en el desarrollo de tumores.

#### *El uso del plástico en la agricultura*

La agricultura y en particular las industrias hortícolas se han convertido en grandes consumidores de plásticos en diferentes formas, que se usan en todas las fases del cultivo, alcanzando un consumo de 2 250 000 toneladas al año (Sa'adu y Farsang, 2023).

Generalmente se estudia la contaminación por plástico, pero se omite el estudio de la contaminación por su uso en la agricultura. El suelo se ha convertido en un importante receptor de residuos plásticos, tanto la agricultura como las industrias hortícolas se han convertido en grandes consumidores de plásticos que con el tiempo se convierte en contaminantes del suelo. Otros investigadores (Horton et al., 2017) concuerdan en que los suelos son los principales reservorios de plásticos de desecho, incluso tienen concentraciones de plástico entre 4 y 23 veces más altas en comparación a los sistemas acuáticos.

Probablemente lo antes planteado, se deba al hecho de que el plástico se produce y usa principalmente en entornos terrestres, donde tienen un tiempo de residencia más largo (Bigalke et al., 2022). Los contaminantes plásticos pueden intercambiarse fácilmente entre sistemas terrestres y acuáticos y viceversa. Por un lado, las partículas de plástico

pueden transferirse del agua al suelo a través de diferentes sistemas de riego y desde los sistemas terrestres puede ser transferidos a los sistemas acuáticos por erosión y escorrentía o con el agua de drenaje, proveniente del suelo. Sin embargo, son escasas las investigaciones para determinar la concentración de plástico en las aguas drenadas.

El drenaje a las aguas subterráneas ocurre con mayor frecuencia en zonas templadas, mientras que el drenaje superficial es más común en las zonas áridas y zonas semihúmedas del mundo. Drenajes abiertos y drenajes superficiales, constituyen aproximadamente el 55% del área drenada, mientras que el drenaje subterráneo y el drenaje vertical cubre el 38% y el 7% respectivamente.

La creciente preocupación por la contaminación por plásticos en los suelos ha motivado múltiples investigaciones orientadas a dimensionar su alcance y posibles impactos. En una revisión bibliográfica reciente, Sa'adu y Farsang (2023) recopilaron estudios que revelan concentraciones alarmantes de microplásticos en suelos agrícolas. Por ejemplo, en China se detectaron entre 2.899 y 8.885 fragmentos de microplásticos por kilogramo de suelo, cifras que reflejan la magnitud del problema. Un aspecto particularmente preocupante es la identificación de partículas plásticas en capas profundas del perfil edáfico, lo que incrementa el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. A partir de estos hallazgos, los autores destacan la urgente necesidad de implementar sistemas de monitoreo y análisis, tanto en productos agrícolas como en las matrices suelo y agua (incluidas las aguas subterráneas), para comprender plenamente las amenazas ambientales y sanitarias que supone esta forma de contaminación.

Según la FAO (2021), en 2018 las tierras de cultivo representaron aproximadamente el 12,03 % de la superficie terrestre mundial. Además, el suelo constituye un reservorio importante de residuos plásticos derivados de diferentes actividades humanas, incluidos usos industriales, domésticos y agrícolas.

A continuación, se muestran algunos usos del plástico en la agricultura (Bruun y Lein, 2013):

- Cubiertas plásticas que protegen los cultivos en climas fríos o en períodos de inclemencias meteorológicas. Están hechas de plásticos resistentes a las bajas temperaturas, pero su vida útil es limitada.
- Cubiertas (láminas de plástico) para el suelo, generalmente de polietileno. Éstas cubren el suelo alrededor de las plantas y ayudan a un mejor uso del agua y también controlan las malezas. Aunque es eficaz, puede generar grandes cantidades de residuos plásticos al final de la temporada. Kedzierski et al. (2023) estimaron que la superficie total de suelos cubiertos por plástico es de  $2,18 \times 10^{11} \text{ m}^2$ , de los cuales  $2,04 \times 10^{11} \text{ m}^2$  corresponden a China. Este dato pone de manifiesto la magnitud de la agricultura

plástica, especialmente en el caso de China, que tiene una gran área dedicada al uso de estos plásticos para la agricultura.

- En sistemas de riego (mangueras, emisores y conectores) hechos principalmente de plásticos, como el polietileno. El polietileno de baja densidad (LDPE) es el plástico más utilizado en la agricultura.
- En invernaderos y túneles de cultivo construidos con plásticos transparentes o de color opaco, como el polietileno, para crear un microclima controlado que favorezca el crecimiento de las plantas. Estos plásticos, aunque duraderos, eventualmente se desgastan y deben ser reemplazados.
- Envases plásticos son ampliamente utilizados para almacenar y transportar pesticidas, fertilizantes, productos agrícolas como frutas, verduras, semillas, y otros productos perecederos. Los plásticos como el polipropileno y el PET (tereftalato de polietileno) son comunes en las bolsas, bandejas y envoltorios.
- Cintas y cuerdas plásticas se utilizan para amarrar plantas, como en el caso de cultivos de tomates, pepinos y otros. También etiquetas para identificar productos y materiales en general.
- En viveros se usan bandejas, macetas y contenedores plásticos para plántulas y hongos, también se usan bolsas plásticas.
- En algunas regiones, el plástico se utiliza como parte de las estrategias para prevenir la erosión del suelo, especialmente en áreas propensas a la desertificación. Las láminas plásticas ayudan a estabilizar el suelo y reducir la pérdida de nutrientes.

El plástico residual puede tener diferentes tamaños y de acuerdo con esto se clasifican de la siguiente manera: macrolásticos ( $\geq 5$  mm de diámetro), mesoplásticos (5 mm-2 cm), microlásticos ( $<5$  mm de diámetro) y nanopartículas ( $<1 \mu\text{m}$ ). Las variables climáticas como la alta temperatura, la radiación solar, las precipitaciones, y el viento se encontraron entre los factores responsable de la meteorización física, el envejecimiento y deterioro de la calidad de las películas plásticas. Similarmente, la aplicación de agroquímicos que contienen compuestos de azufre, halógenos, hierro y cloro, causa el envejecimiento prematuro de las películas plásticas. Se ha demostrado que el azufre en los pesticidas es nocivo e induce el envejecimiento de la película plástica (Vox et al., 2008).

Algunos autores (Prappt y Ortega, 2019) consideran que el principal flujo de desechos en la agricultura protegida es el uso de cubiertas de plástico, que, aunque existan o no regulaciones al respecto, la cantidad reciclada es insuficiente. Para la cubierta se utilizan películas plásticas (generalmente de polietileno) para cubrir el suelo, lo que

ayuda a controlar las malezas, conservar la humedad del suelo, regular la temperatura del terreno y prevenir la erosión. También pueden mejorar la productividad de cultivos como fresas, tomates y pepinos. Según los autores mencionados, la agricultura protegida genera una cantidad significativa de desechos plásticos.

Una práctica ampliamente adoptada, especialmente en zonas áridas, consiste en combinar el uso de cubiertas plásticas con sistemas de riego por goteo. Esta combinación tecnológica ha demostrado ser efectiva para controlar la salinidad en los 140 cm más superficiales del suelo, optimizar la eficiencia en el uso del agua y generar incrementos significativos en los rendimientos de las cosechas. Sin embargo, diversos estudios han señalado que el uso prolongado de estas coberturas plásticas puede tener consecuencias ambientales negativas. En particular, Wang et al. (2021) reportaron que, en las áreas donde se han implementado estas prácticas, se ha observado una reducción considerable de la flora nativa.

El estudio de Wang et al. (2021) analizó coberturas fabricadas principalmente con polietileno y cloruro de polivinilo, materiales que presentan una alta persistencia en el ambiente, con tiempos estimados de degradación que superan los 100 años en suelos. Los autores destacan que las herramientas utilizadas durante el laboreo pueden fragmentar las cubiertas plásticas, provocando que sus restos sean incorporados en capas más profundas del perfil edáfico. Este proceso favorece la acumulación de microlásticos en el suelo, generando impactos negativos sobre la circulación del agua, lo que puede afectar directamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Además, la contaminación por microlásticos representa un desafío particularmente complejo, ya que resulta difícil de controlar y de remediar. A largo plazo, la presencia de estas partículas altera las propiedades físicas y químicas del suelo, afecta negativamente la microbiota edáfica, disminuye la actividad enzimática esencial para los ciclos biogeoquímicos, y compromete el crecimiento saludable de las plantas. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de evaluar cuidadosamente las tecnologías agrícolas adoptadas, considerando no solo su impacto productivo inmediato, sino también sus repercusiones ambientales a mediano y largo plazo.

Otro uso del plástico son estructuras de invernaderos y túneles, que protegen a los cultivos de lluvias torrenciales, sequías, del calor excesivo y, por tanto, proporcionan un ambiente controlado para el crecimiento de plantas, permitiendo extender la temporada de cultivo y proteger a las plantas además de las condiciones climáticas extremas, también de plagas y enfermedades.

*Reflexiones y estrategias para enfrentar la crisis ambiental relacionada con el plástico*

Debido al incremento acelerado de contaminación por plásticos en las diferentes matrices ambientales, será

necesario en el futuro inmediato, elaborar propuestas basadas en tecnologías de reducción de materiales plásticos en las diferentes áreas productivas. Se trata de generar una cultura en los consumidores hacia la generación de cambios y revolucionar el concepto de Reducir, Reusar y Reciclar (RRR) a uno de Rechazar, Adaptar y Exigir (RAE). Rechazo a todos los productos que generen los plásticos, Adaptar nuestros hábitos de consumo y Exigir la reglamentación a las empresas y multinacionales para la tecnificación de sus empaques. Para esto es importante todo un desarrollo teórico y práctico desde las instituciones educativas en la formación inicial de los niños, docentes, adaptaciones curriculares y en la transposición a la comunidad en general.

Otra práctica que puede reducir el impacto del plástico es el uso de materiales sustentables y biodegradables para reemplazar el plástico, por bioplástico. Estos materiales son el foco de una industria emergente centrada en hacer que una vida cómoda sea compatible con la estabilidad ambiental. Sin embargo, aún queda mucho por hacer para lograr mitigar el efecto negativo de los plásticos convencionales en el medio ambiente. Para lograr explotar la potencialidad de los bioplásticos, es necesario el desarrollo de legislación y políticas de estado que, basados en el avance de la tecnología, permitan una eficiente gestión de residuos. Cuando éstas son implementadas acompañadas de decisiones políticas complementarias, ya sean de carácter regulatorio o incluso mediante incentivos impositivos, es posible alcanzar de manera sinérgica un mayor efecto global y con una reducción significativa en los costos finales.

Se necesitan sólidas acciones políticas para frenar los envases de plástico innecesarios, como la prohibición de las bolsas de plástico de un solo uso, o para aumentar sustancialmente la tasa de recolección y reciclado efectivo de desechos plásticos, fomentando esquemas de envases retornables reusables. Los plásticos de un solo uso surgieron para dar respuesta inmediata, placentera y económica, que responde al modelo consumista propagado en las últimas décadas, porque promulga el concepto de desechable y genera una formación exponencial de degradación del ambiente.

Claramente no existe una única solución a la problemática de los microplásticos, sino que se requiere de un enfoque integral que combine nuevas tecnologías, formulación de políticas adecuadas y una clara promoción a la sociedad para prevenir una mayor contaminación por plásticos y el consiguiente daño a los ambientes acuáticos, sus organismos y la salud humana.

Aunque los bioplásticos tienen día a día un mayor número de áreas de aplicación, las políticas de manejo son deficientes. Deberíamos guiar a las generaciones jóvenes a repensar el plástico (rechazar y reducir), especialmente cuando nacen en un mundo lleno de este material, que puede cegarlos ante el problema existente. Además de inculcarles la preocupación por la contaminación plástica, lo más

importante es cultivar hábitos y comportamientos de una manera más ecológica. Todos los esfuerzos, generalmente se centran en los procesos de separación en la fuente previo al reciclaje y no a la disminución de su producción. Es sugerente considerar que los problemas de contaminación de los plásticos se integren en planes de estudio de la enseñanza en todos los niveles. También sumar prácticas de gestión y conocimiento de los impactos del plástico, incluido la comprensión y generación de conciencia del grado de contaminación producido en distintos tipos de hábitat

## Referencias

- Almeida-Naranjo, C. E., & Campos, Y. (2023). Efectos tóxicos de los microplásticos en la salud de los trabajadores [Tesis de grado]. Universidad Internacional SEK. <https://www.uisek.edu.ec/repositorio/tesis>
- Andrades-Ayerra, S. (2020). Efectos de la contaminación por plástico en salud animal [Tesis de grado]. Universidad de Zaragoza.
- Barbuzano-Guanche, M. (2020). Exposición dietética a microplásticos en España [Tesis de maestría]. Universidad de La Laguna.
- Bigalke, M., Fieber, M., Foetisch, A., Reynes, J., & Tollan, P. (2022). Microplastics in agricultural drainage water: A link between terrestrial and aquatic microplastic pollution. *Science of the Total Environment*, 806, 150709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150709>
- Bruun, D. A., & Lein, P. J. (2013). Environmental health implications of plastic use in agriculture. University of California.
- Bustamante, P., Lizama, B., Olaíz, G., & Vázquez, F. (2001). Ftalatos y efectos en la salud. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(4), 205–215.
- Buteler, M. (2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? Desde la Patagonia. *Difundiendo Saberes*, 16(28).
- Calafat, A. M., Weuve, J., Ye, X., Jia, L. T., Hu, H., & Ringer, S. (2008). Exposure to bisphenol A and other phenols in neonatal intensive care unit premature infants. *Environmental Health Perspectives*, 117, 639–644.
- Fackelmann, G., Pham, C. K., Rodríguez, Y., Mallory, M. L., Provencher, J. F., Baak, J. E., & Sommer, S. (2023). Current levels of microplastic pollution impact wild seabird gut microbiomes. *Nature Ecology & Evolution*, 7(5), 698–706. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02013-z>
- García, A., Gallego, C., & Font, G. (2015). Toxicidad del Bisfenol A: Revisión. *Revista de Toxicología*, 32(2), 144–160.

- Gil, A., Espinosa, M., González, A., Chiari, M., del Rosario, N., Batista, V., & Sierra, M. (2020). Los envases de plástico y su impacto. *Semilla Científica*, 1, 268–279.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Hussain, K. A., Romanova, S., Okur, I., Zhang, D., Kuebler, J., Huang, X., Wang, B., Fernandez-Ballester, L., Lu, Y., Schubert, M., & Li, Y. (2023). Assessing the release of microplastics and nanoplastics from plastic containers and reusable food pouches: Implications for human health. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9782–9792.
- Kedzierski, M., Cirederf-Boulant, D., Palazot, M., Yvin, M., & Bruzard, S. (2023). Continents of plastics: An estimate of the stock of microplastics in agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 880, 163294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163294>
- Mendocilla-García, S. M. (2014). Exposición a ftalatos y su relación con la salud humana: Una revisión sistemática. Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica, Biblioteca de Saúde Pública, Brasil.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). La situación de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: Sistemas al límite (Segunda edición). FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.12345/71452>
- Persson, L., Carney-Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., & Diamond, M. L. (2021). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science & Technology*, 56, 1510–1521.
- Prappt, L., & Ortega, J. M. (2019). Agricultura protegida en México: Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado. Enrique Nieto, Isabelle Braly-Cartillier (Eds.).
- Sa'adu, I., & Farsang, A. (2023). Plastic contamination in agricultural soils: A review. *Environmental Sciences Europe*, 35(13). <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00720-9>
- Sbarbati-Nudelman, N. (2020). Residuos plásticos en Argentina: Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular (1a ed., volumen combinado). Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Sáez-Cubero, A. (2024). Microplásticos en productos de origen animal procedentes del mar [Tesis de grado]. Universidad Católica de Valencia.
- Sun, Y., Jiao, X., Zhang, N., Yan, B., & Fan, D. (2024). Correspondence on "Assessing the release of microplastics and nanoplastics from plastic containers and reusable food pouches: Implications for human health." *Environmental Science & Technology*, 58(20), 9013–9014. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c02467>
- Tuvo, B., Scarpaci, M., Bracaloni, S., Esposito, E., Costa, A. L., Ioppolo, M., & Casini, B. (2023). Microplastics and antibiotic resistance: The magnitude of the problem and the emerging role of hospital wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 5868.
- Vox, G., Schettini, E., Stefani, L., & Modesti, M. (2008). Effects of agrochemicals on the mechanical properties of plastic films for greenhouse covering. *Acta Horticulturae*, 801, 155–162.
- Wang, T., Wang, Z., Li, G., Zhang, J., Li, W., He, H., Zong, R., Wang, D., Jia, Z., & Wen, Y. (2021). Experiences and challenges of agricultural development in an artificial oasis: A review. *Agricultural Systems*, 193(C).
- Xiao, Y. (2019). The burden of plastic generation [Tesis de maestría]. Lund University, School of Industrial Design, Department of Design Sciences.
- Xu, S. Y., Zhang, H., He, P. J., & Shao, L. M. (2011). Leaching behaviour of bisphenol A from municipal solid waste under landfill environment. *Environmental Technology*, 32, 1269–1277.
- Zhang, H., He, P. J., & Shao, L. M. (2011). Leaching behaviour of bisphenol A from municipal solid waste under landfill environment. *Environmental Technology*, 32, 1269–1277.
- Zhang, Y., Chen, D., Tang, X., Zhu, Y., Fang, Z., Li, X., Li, Y., Pan, D., Sai, X., Gao, Y., Lv, Y., Kong, C., & Tremblay-Levesque, L. C. (2022). Partnerships for plastic pollution control in the Yangtze River: Strengthening coordination using the River Chief System. Global Water Partnership.

Ciencia y Tecnología Agropecuaria es una revista publicada por la Universidad de Pamplona bajo la licencia: [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (CC BY-NC-SA 4.0)

