



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Estrategias para la reducción de contaminación ambiental por plásticos**

Marcela Flórez Córdoba

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Asesor

Danny Waldir Ibarra, Doctor (PhD) en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2025



---

Cita

(Flórez Córdoba, 2025)

---

Referencia

Flórez Córdoba. M (2025). *Estrategias para la reducción de contaminación por plásticos* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Especialización en Gestión Ambiental , Cohorte XVII.

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	7
Abstract .....	8
1. Planteamiento del problema.....	9
2. Objetivos .....	11
2.1. Objetivo general .....	11
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. Marco teórico .....	12
4. Metodología.....	17
4.1. Desarrollo de metodología .....	18
4.1.1. Revisión y análisis documental .....	18
4.1.2. Análisis comparativo.....	19
4.1.3. Síntesis de resultados .....	20
5. Resultados .....	20
6. Análisis de resultados .....	24
7. Conclusiones .....	25
Referencias .....	27

---

### Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Estudios destacados de aplicación estrategias biotecnológicas con <i>Aspergillus</i> sp.....	13
<b>Tabla 2</b> Estudios destacados de aplicación técnicas fisicoquímicas – limitantes y beneficios .....	14
<b>Tabla 3</b> Estudios destacados educación ambiental – limitantes y beneficios.....	16
<b>Tabla 4</b> Tipos de plásticos (Fuente: Elaboración propia).....	20
<b>Tabla 5</b> Fuentes de generación de plástico .....	21
<b>Tabla 6</b> Estrategias – Viabilidad de aplicación .....	22

**Lista de figuras**

**Figura 1** Problemática general (Elaboración propia) .....10

**Figura 2** Metodología ProckNow-C plásticos (Elaboración propia)..... 18

---

### Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>HDPE</b>	Polietileno alta densidad
<b>LDPE</b>	Polietileno baja densidad
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>PU</b>	Poliuretano
<b>PC</b>	Policarbonato
<b>PET</b>	Polietileno tereftalato
<b>PA</b>	Poliamida
<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia
<b>UV</b>	Ultravioleta

## Resumen

La contaminación por plásticos representa uno de los problemas ambientales más graves a nivel global, afectando ecosistemas y la salud humana. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes estrategias para mitigar la contaminación plástica, enfocándose en tres estrategias clave: biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental. Utilizando el método ProckNow-C, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura existente y un análisis entre los avances y desafíos de cada estrategia.

En el ámbito biotecnológico, se analizaron capacidades de microorganismos para degradar plásticos, evaluando su eficiencia y aplicabilidad, destacándose por su bajo impacto ambiental y sostenibilidad; sin embargo, enfrentan desafíos como tiempos prolongados de degradación y eficacia limitada con polímeros complejos. En cuanto a las estrategias fisicoquímicas, como la hidrólisis y fotocatalisis, muestran alta eficiencia en la conversión de plásticos en productos útiles, alcanzando tasas de eliminación superiores al 85%, pero exigen infraestructura tecnológica avanzada y un control riguroso de los subproductos generados. Por su parte, la educación ambiental emerge como una estrategia para promover cambios comportamentales, reducir el consumo de plásticos y fortalecer la conciencia ciudadana.

Los resultados de la investigación indican que, aunque cada enfoque presenta ventajas específicas, también existen impactos negativos, limitaciones técnicas y económicas que deben ser superadas. Además, se enfatiza la importancia de combinar estas estrategias en un enfoque integral para lograr una solución sostenible. Esta monografía proporciona una base para futuras investigaciones que promuevan una gestión más eficiente de los residuos plásticos y una reducción significativa de su impacto ambiental.

*Palabras clave:* Plásticos, biotecnología, contaminación ambiental, métodos fisicoquímicos, educación ambiental, impacto ambiental.

## Abstract

Plastic pollution represents one of the most serious global environmental problems, affecting ecosystems and human health. This work aims to evaluate the impact of different strategies to mitigate plastic pollution, focusing on three key strategies: biotechnological, physicochemical and environmental education. Using the ProckNow-C method, an exhaustive review of existing literature and an analysis between the advances and challenges of each strategy was carried out.

In the biotechnological field, the capabilities of microorganisms to degrade plastics were analyzed, evaluating their efficiency and applicability, standing out for their low environmental impact and sustainability; however, they face challenges such as long degradation times and limited effectiveness with complex polymers. As for physicochemical strategies, such as hydrolysis and photocatalysis, they show high efficiency in the conversion of plastics into useful products, reaching elimination rates of over 85%, but require advanced technological infrastructure and rigorous control of the by-products generated. Environmental education emerges as a strategy to promote behavioral changes, reduce plastic consumption and strengthen citizen awareness.

The results of the research indicate that, although each approach has specific advantages, there are also negative impacts, technical and economic limitations that must be overcome. Furthermore, the importance of combining these strategies into a comprehensive approach to achieve a sustainable solution is emphasized. This monograph provides a basis for future research to promote more efficient management of plastic waste and a significant reduction of its environmental impact.

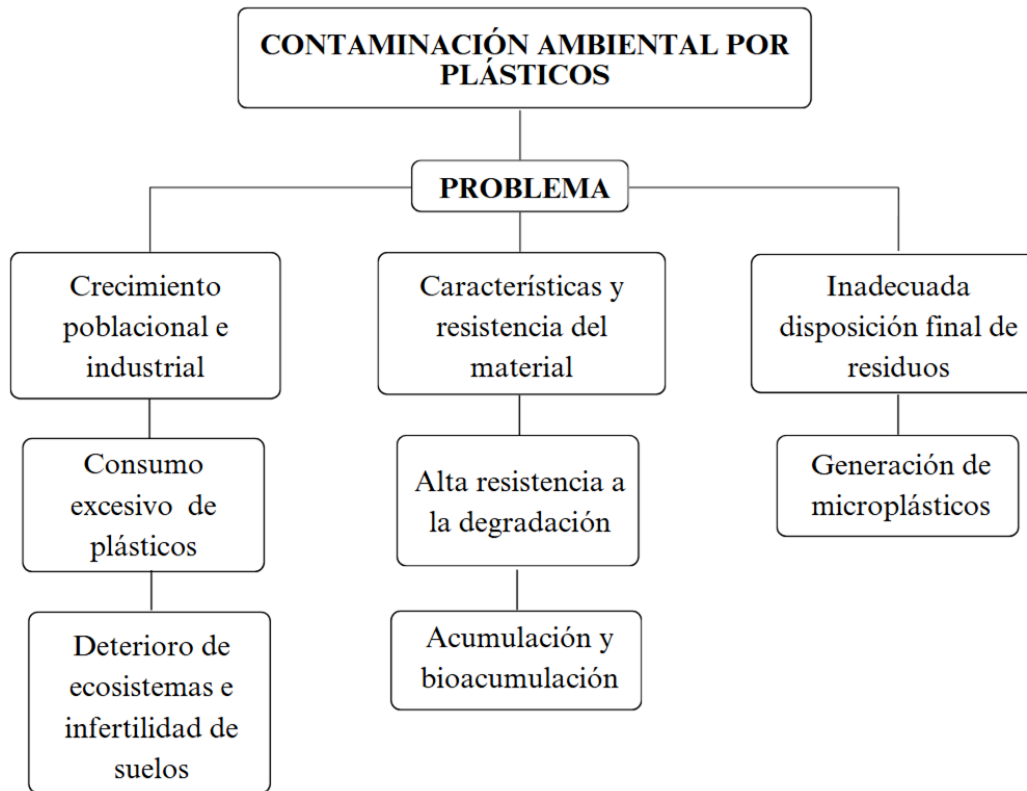
*Keywords:* Plastics, biotechnology, environmental pollution, physicochemical methods, environmental education, environmental impact.

## 1. Planteamiento del problema

La contaminación por plásticos se ha consolidado como una de las crisis ambientales más graves del siglo XXI, debido a la magnitud de su producción, su persistencia en el ambiente y los múltiples impactos que genera en los ecosistemas y la salud humana. Desde la década de 1950, la producción mundial de plásticos ha superado los 8 mil millones de toneladas, y cerca del 60% de estos materiales han sido dispuestos en vertederos o directamente liberados en el medio ambiente (Geyer, et al., 2017). Esta acumulación masiva se debe, en parte, a las características fisicoquímicas de los polímeros sintéticos, los cuales están formados por largas cadenas de carbono e hidrógeno lo cual genera una alta resistencia a la degradación tanto física como biológica (Danso et al., 2019).

Debido a esta resistencia, los plásticos pueden persistir en el ambiente durante siglos, generando acumulación a largo plazo que afecta gravemente los ecosistemas. Esta problemática no solo amenaza a la fauna marina y terrestre mediante la ingestión o el atrapamiento físico, sino que también plantea riesgos emergentes para la salud humana a través de la incorporación de microplásticos en las cadenas alimenticias (Lebreton L. et al., 2017; Smith et al., 2018). La presencia de estos contaminantes ha sido documentada en peces, aves, agua potable y productos alimenticios, lo que ha despertado la preocupación de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), que advierte sobre el potencial de los microplásticos para alterar sistemas biológicos, aunque sus efectos aún no se comprendan completamente.

El modelo económico actual, basado en un consumo lineal y altamente dependiente de plásticos de un solo uso, ha intensificado la crisis, mientras que las estrategias tradicionales de manejo como el reciclaje mecánico e incluso la incineración presentan importantes limitaciones. El reciclaje mecánico, aunque ampliamente implementado, enfrenta barreras como la contaminación del material, la degradación de las propiedades del plástico y la baja calidad del producto final, lo que reduce su eficacia (López Martínez, 2021). Por otro lado, la incineración contribuye a la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros compuestos tóxicos, generando nuevos impactos negativos sobre la calidad del aire y el cambio climático (López Martínez, 2021). En la Figura 1 se muestran las problemáticas generadas por los plásticos.

**Figura 1***Problemática general (Elaboración propia)*

Frente a este escenario, la comunidad científica ha propuesto alternativas innovadoras que pueden agruparse en tres grandes enfoques: las estrategias fisicoquímicas, las soluciones biotecnológicas y las acciones de educación ambiental.

Las estrategias fisicoquímicas, como la pirólisis catalítica, la fotocatalisis avanzada, la hidrólisis alcalina y la oxidación térmica, han demostrado cierto nivel de eficiencia en la degradación o conversión de plásticos, especialmente bajo condiciones controladas. Por ejemplo, estudios recientes reportan porcentajes de eliminación que superan el 85% en procesos como la hidrólisis de PET (Morita et al., 2023), aunque su aplicación a gran escala enfrenta desafíos como altos requerimientos energéticos, generación de subproductos y costos tecnológicos elevados (Sharuddin et al., 2016).

En paralelo, las soluciones biotecnológicas han mostrado un gran potencial mediante el uso de enzimas, bacterias u hongos capaces de degradar plásticos en condiciones ambientales más sostenibles. Sin embargo, su implementación aún se encuentra limitada por tiempos de degradación

prolongados, la necesidad de condiciones específicas de cultivo y una limitada eficiencia en materiales altamente resistentes como el polietileno (Danso et al., 2019).

Finalmente, la educación ambiental emerge como una herramienta indispensable para transformar los patrones de consumo y fomentar una cultura ciudadana más responsable. Campañas comunitarias, proyectos escolares, redes sociales y programas institucionales han mostrado ser eficaces para concientizar y reducir el uso de plásticos de un solo uso, aunque su impacto depende fuertemente del contexto sociocultural y del apoyo político-institucional (Ardoin et al., 2020; McGlade J et al., 2021).

A pesar de los avances en cada uno de estos enfoques, la gestión integral del problema aún se ve obstaculizada por la falta de articulación entre ellos. Las soluciones fisicoquímicas y biotecnológicas suelen desarrollarse en contextos académicos o industriales, aisladas del componente social necesario para garantizar su aceptación y uso a nivel comunitario. A su vez, los programas educativos carecen muchas veces de respaldo técnico o científico que permita conectar el conocimiento con acciones concretas de mitigación. Por ello surge la pregunta problema ¿Cómo pueden las estrategias biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental contribuir para mejorar la degradación de plásticos y mitigar su impacto en la contaminación ambiental?

Desde esta perspectiva, la presente monografía se plantea como una revisión crítica que busca analizar el potencial de las estrategias fisicoquímicas, biotecnológicas y educativas como herramientas complementarias para la mitigación de la contaminación por plásticos, evaluando sus ventajas, limitaciones y posibilidades de integración en escenarios reales.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el impacto de diversas estrategias para la reducción de la contaminación ambiental por plástico mediante una revisión bibliográfica de los últimos 10 años, a través del análisis de métodos biotecnológicos, fisicoquímicos y de educación ambiental, con el propósito de promover un manejo sostenible de los residuos plásticos.

## 2.2. Objetivos específicos

- Identificar tipos de plásticos, fuentes de generación comunes y su impacto en los ecosistemas.
- Evaluar la efectividad y viabilidad de estrategias biotecnológicas y fisicoquímicas para la reducción y manejo de residuos plásticos.
- Analizar el rol de la educación ambiental en la concientización social y su contribución a la mitigación de la contaminación por plásticos.

## 3. Marco teórico

La contaminación por plásticos ha adquirido una magnitud crítica en las últimas décadas, debido a la masiva producción, consumo y disposición de productos plásticos que no se degradan fácilmente en el ambiente. Según De Smet, M (2016), en 2015 se produjeron más de 380 millones de toneladas de plásticos a nivel mundial, y menos del 10% de estos materiales fueron reciclados, lo que genera un impacto significativo en los ecosistemas. Además, el aumento en la acumulación de microplásticos (partículas menores de 5 mm) en océanos, cuerpos de agua y suelo ha causado efectos adversos en la fauna y la salud humana, dado que estos pequeños fragmentos pueden ser ingeridos por los animales marinos y, posteriormente, por los seres humanos (Rochman et al., 2015).

Para abordar este creciente problema, se han propuesto diversas estrategias para la reducción de residuos plásticos, entre las cuales destacan las estrategias biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental. A continuación, se presentan los antecedentes relevantes en estas áreas, que han sido objeto de estudios y aplicación en diferentes contextos.

Las estrategias biotecnológicas han ganado atención por su capacidad para descomponer los plásticos de manera biológica, utilizando microorganismos, enzimas o procesos naturales. Un avance destacado en este campo fue el descubrimiento de la bacteria *Ideonella sakaiensis* en 2016, la cual puede degradar el PET (polietileno tereftalato), un plástico comúnmente utilizado en botellas de bebidas (Yoshida et al., 2016). Esta bacteria produce una enzima, la PETasa, que descompone el PET en sus monómeros básicos, lo que permite que el plástico sea degradado por

microorganismos en el ambiente. Sin embargo, a pesar de estos avances, la biodegradación microbiana de plásticos presenta limitaciones, como la lentitud del proceso y la especificidad de los microorganismos para ciertos tipos de plásticos (Pathak, V.M, 2017).

En la Tabla 1 se resumen algunos estudios destacados que emplean hongos del género *Aspergillus* sp. en la degradación de plásticos, con sus respectivos resultados, condiciones de experimentación y niveles de eficiencia alcanzados.

**Tabla 1**

*Estudios destacados de aplicación estrategias biotecnológicas con Aspergillus sp.*

Nombre articulo	Microorganismo	Tipo de plástico	Tiempo (días)	Degradación	Cita bibliográfica
<b>Minimal Conditions to Degrade Low Density Polyethylene by <i>Aspergillus terreus</i> and <i>niger</i></b>	<i>Aspergillus Terreus</i> y <i>Aspergillus Niger</i>	Polietileno de baja densidad (LDPE)	77	<i>Niger</i> (35,3%) <i>Terreus</i> (22,14%)	(Sáenz et al., 2019)
<b>Colonization and degradation of thermally oxidized high-density polyethylene by <i>Aspergillus Niger</i> isolated from plastic waste dumpsite</b>	<i>Aspergillus Niger</i>	Polietileno de alta densidad (HDPE)	30	Reducción en masa del (3,44%)	(Mathur et al., 2011)
<b>Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water a SEM analysis</b>	<i>Aspergillus versicolor</i> y <i>Aspergillus sp</i>	Polietileno de baja densidad	60 días	<i>Aspergillus versicolor</i> el 77%. <i>Aspergillus sp.</i> 83%	(R. Pramila 2011)
<b>Biodegradation of low density polyethylene by microorganisms from garbage soil</b>	<i>Aspergillus niger</i> y <i>Aspergillus flavus</i>	Polietileno de baja densidad	30 a 60 días.	<i>Niger</i> (26.17%) <i>Flavus</i> (16.45%)	(Deepika & Madhuri, 2015)

En el campo de las estrategias fisicoquímicas se incluyen métodos como el reciclaje químico y la pirólisis para la transformación de los plásticos en productos útiles. El reciclaje químico permite descomponer los plásticos a nivel molecular para generar productos de alto valor, lo que facilita su reutilización y reduce el impacto ambiental del desecho de estos materiales (Ragaert et al., 2017). Este enfoque es especialmente útil para plásticos mixtos, que son difíciles de procesar mediante el reciclaje mecánico convencional. Además, un proceso clave dentro de las estrategias fisicoquímicas es la pirólisis, que descompone los plásticos mediante calor en ausencia de oxígeno.

Esta técnica convierte los plásticos en combustibles y productos químicos útiles, lo que reduce el volumen de los residuos plásticos y permite recuperar parte de la energía contenida en estos materiales (Matsui et al., 2019). Sin embargo, la pirólisis presenta desafíos como el control de la producción de subproductos tóxicos, lo que requiere un análisis más profundo sobre su viabilidad y seguridad. En la **Tabla 2** se presenta un resumen de algunas de las principales técnicas fisicoquímicas utilizadas en la degradación de plásticos, indicando el medio en el que se aplican, el tipo de plástico tratado, su eficiencia, así como sus limitaciones y beneficios.

**Tabla 2**

*Estudios destacados de aplicación técnicas fisicoquímicas – limitantes y beneficios*

Técnica Fisicoquímica	Tipo de Medio Fisicoquímico	Tipo de Plástico	Eficiencia – Degradación (%)	Limitantes	Beneficios	Cita bibliográfica
Hidrolisis alcalina	Hidróxido de sodio (NaOH)	Polietileno tereftalato (PET) y Fluoruro de polivinilo (PVDF)	85%	Requiere condiciones controladas de pH y temperatura	Proceso relativamente ecológico y eficiente para el reciclaje de plásticos	(Morita et al., 2023)
Fotocatálisis avanzada	TiO <sub>2</sub> activado por UV	Poliestireno (PS)	Pérdida significativa de peso, sin cuantificar	Requiere condiciones controladas de pH y temperatura; eficiencia depende de la	No requiere reactivos tóxicos	(Shang, et al., 2003)

Técnica Físicoquímica	Tipo de Medio Físicoquímico	Tipo de Plástico	Eficiencia – Degradación (%)	Limitantes	Beneficios	Cita bibliográfica
				intensidad UV		
Tratamiento térmico-químico	Calor + surfactantes	Polipropileno (PP)	No especificado, pérdida de peso significativo en las muestras	Requiere condiciones controladas de pH y temperatura; eficiencia depende de la concentración de surfactantes y temperatura	Mejora el acceso al polímero para posteriores tratamientos biológicos, no requiere reactivos tóxicos-	(Esmizadeh, et al., 2020)
Hidrólisis alcalina	Solución de NaOH a 150°C	Tereftalato de polietileno (PET)	95%	Requiere alta temperatura y condiciones de presión, manejo de residuos cáusticos y pH controlado.	Permite recuperación de monómeros (ácido tereftálico y etilenglicol)	(Amundarain, et al., 2024)

Finalmente, las estrategias de educación ambiental han sido fundamentales para promover cambios en el comportamiento de la sociedad respecto al consumo y manejo de plásticos. La concientización pública a través de campañas educativas y programas de sensibilización ha demostrado ser eficaz en la reducción del uso de plásticos de un solo uso y en el aumento de las tasas de reciclaje (Rico Torreosa et al., 2018). Programas como el de "Zero Waste" (Cero Residuos) han logrado incentivar prácticas sostenibles, como la reducción, reutilización y reciclaje de materiales plásticos (Escobar Ramirez, EE 2020).

La Tabla 3 recopila experiencias significativas en educación ambiental orientadas a la reducción de la contaminación por plásticos, detallando sus enfoques, tipos de plásticos abordados, sus limitantes y beneficios que enfrentan en distintos contextos.

**Tabla 3***Estudios destacados educación ambiental – limitantes y beneficios*

<b>Estrategia</b>	<b>Tipos de Plásticos</b>	<b>Limitantes</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Cita bibliográfica</b>
<b>Educación Ambiental</b>				
<b>Programas escolares de acción comunitaria</b>	Plásticos de un solo uso (bolsas, botellas)	Escasa continuidad fuera del aula; depende del apoyo docente	Fomenta el sentido de responsabilidad ambiental desde edad temprana; genera impacto visible en la comunidad	(Ardoin et al., 2020).
<b>Campañás en redes sociales dirigidas a jóvenes</b>	Microplásticos y envases	Difícil medir impacto directo; atención dispersa en redes sociales	Alta cobertura y fácil replicación; genera conciencia en sectores difíciles de alcanzar	(Ertz M. et al., 2022).
<b>Talleres prácticos en comunidades rurales sobre reciclaje y reutilización</b>	PET, HDPE	Requiere infraestructura básica de reciclaje; escaso financiamiento	Fortalece el tejido social; promueve economías circulares locales	(Arevalo et al., 2023)

Sin embargo, se ha observado que la educación ambiental por sí sola no es suficiente para resolver el problema de la contaminación por plásticos. políticas públicas pueden ser una herramienta para modificar conductas desfavorables para el ambiente (Tellez M., 2012) que refuercen las prácticas de reciclaje y reduzcan la producción de plásticos. La implementación de

legislaciones que limiten el uso de plásticos de un solo uso y fomenten alternativas biodegradables es clave para fortalecer los esfuerzos educativos.

Por lo anterior, el impacto de esta investigación es de gran relevancia para la gestión de residuos plásticos en diferentes contextos e industrias, desde áreas urbanas hasta zonas rurales y marítimas evaluando diversas estrategias y su efectividad en distintos entornos. Además, al explorar la interacción entre los métodos biotecnológicos, fisicoquímicos y educativos, se contribuye a la creación de políticas públicas más efectivas y a la promoción de un cambio cultural hacia el manejo sostenible de los plásticos.

#### **4. Metodología**

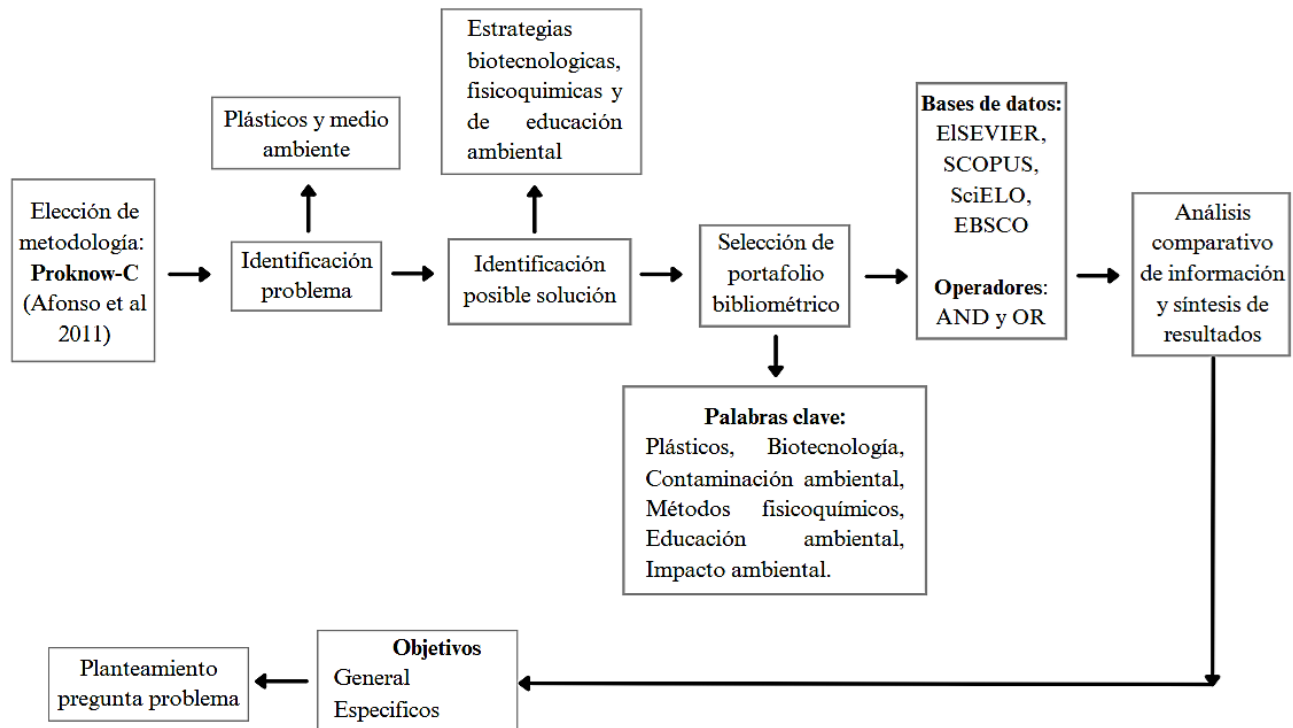
La investigación se centró en evaluar el impacto de diversas estrategias para la reducción de la contaminación por plásticos, por medio de un enfoque metodológico diseñado para abordar la problemática a través de la evaluación teórica y el análisis crítico de tres tipos de estrategias: biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental. El método ProckNow-C es una herramienta metodológica desarrollada para apoyar la construcción sistemática del conocimiento científico a través de filtros progresivos aplicados a una base bibliográfica. Según Afonso et al. (2011), se trata de un protocolo riguroso que utiliza criterios preestablecidos para seleccionar, analizar y organizar artículos científicos relevantes, con el fin de formar un portafolio bibliográfico representativo y alineado con el tema de investigación. Este método permite garantizar la calidad, pertinencia y coherencia del material seleccionado, evitando sesgos y favoreciendo la toma de decisiones informadas en el desarrollo del marco teórico.

La metodología se desarrolla en cuatro etapas principales las cuales se dividen en la selección del portafolio bibliográfico, donde se filtran los artículos según criterios de pertinencia, duplicidad y alineación temática; el análisis bibliométrico, que permite identificar las publicaciones más citadas, autores influyentes y fuentes clave; el análisis sistémico, en el que se examina el contenido de los artículos para establecer conexiones conceptuales y enfoques metodológicos; y

finalmente, la definición de la pregunta de investigación y los objetivos, orientada a delimitar con precisión el foco del estudio a partir del conocimiento construido como se muestra en la Figura 2.

### Figura 2

Metodología ProckNow-C plásticos (Elaboración propia).



## 4.1. Desarrollo de metodología

### 4.1.1. Revisión y análisis documental

La primera fase de la investigación consistió en una revisión exhaustiva de la literatura y documentos previos sobre las tres estrategias para la reducción de la contaminación por plásticos, mediante:

- Investigaciones previas sobre el uso de microorganismos y enzimas para la biodegradación de plásticos, con enfoque en la viabilidad y eficiencia de las estrategias biotecnológicas; estudios sobre procesos fisicoquímicos, para evaluar su efectividad y sostenibilidad en la conversión de plásticos en productos útiles o

combustibles; análisis de programas y políticas de educación ambiental que hayan promovido la reducción de plásticos, evaluando su impacto en el comportamiento de la población.

- Se realizó una verificación de bases de datos como ELSEVIER, SCOPUS, SciELO y EBSCO; con el uso de operadores booleanos para inclusión y exclusión de información en las investigaciones “OR” y “AND”, con el propósito de identificar literatura científica como fuente principal de esta investigación. Además, se tuvieron en cuenta páginas gubernamentales para tener información confiable de organizaciones medioambientales y organismos internacionales.
- Para el análisis de la estrategia propuesta, se empleó un método evaluativo basado en tres escalas de valoración: alta, moderada y baja. Estas escalas permiten calificar de manera cualitativa el alcance, impacto o aplicabilidad de la estrategia, según los criterios establecidos en el estudio.

Las escalas se definen de la siguiente manera:

**Alta**, indica un nivel significativo de efectividad o pertinencia, con un impacto claro y sostenido en la reducción de la contaminación por plásticos, ya sea desde un enfoque biotecnológico, fisicoquímico o educativo.

**Moderada**, representa un nivel intermedio de efectividad, con resultados positivos, pero con limitaciones en su alcance, duración o replicabilidad.

**Baja**, denota una efectividad limitada o escasa, con resultados poco sostenibles, impacto marginal o dificultades en su implementación práctica.

#### ***4.1.2. Análisis comparativo***

En esta fase, se llevó a cabo un análisis comparativo de las tres estrategias (biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental). Este permitió obtener una visión integral de la viabilidad, los posibles beneficios y desafíos asociados a cada estrategia en relación con la reducción de la contaminación por plásticos. En esta fase se realizó:

- Comparación teórica de la efectividad de los métodos biotecnológicos frente a las estrategias fisicoquímicas en términos de eficiencia y resultados esperados.

- Revisión crítica de la literatura sobre las campañas educativas, identificando las más exitosas y analizando las barreras que enfrentan las comunidades para adoptar prácticas sostenibles en relación con los plásticos.
- Exploración de posibles combinaciones entre las tres estrategias que puedan ser aplicadas en un enfoque integral para mitigar la contaminación por plásticos, complementando sus beneficios.

#### 4.1.3. Síntesis de resultados

La última fase de la metodología consistió en sintetizar los resultados obtenidos del análisis comparativo y extraer conclusiones clave sobre la viabilidad y efectividad de las estrategias. Además de realizar un análisis de los plásticos más utilizados, las industrias que los generan y los impactos ambientales que estos ocasionan por su inadecuada disposición final.

## 5. Resultados

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se identificaron los principales tipos de plásticos utilizados tanto a nivel industrial como en la vida cotidiana, así como sus respectivos usos, los cuales representan una contribución significativa a la contaminación ambiental, como se muestra a continuación en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Tipos de plásticos (Fuente: Elaboración propia)*

Nombre	Sigla	Producto
<b>Poliétileno</b>	PE	Bolsas, botellas, envases, películas plásticas
<b>Polipropileno</b>	PP	Tapas de envases, textiles, contenedores reutilizables
<b>Poliestireno</b>	PS	Icopor, vasos desechables, empaques de alimentos y aislantes
<b>Policloruro de vinilo</b>	PVC	Tuberías, cables, recubrimientos
<b>Poliuretano</b>	PU	Aislante térmico, espumas, colchones, barnices y recubrimientos

Nombre	Sigla	Producto
<b>Policarbonato</b>	PC	Lentes, discos, equipos médicos y electrónicos
<b>Polietileno tereftalato</b>	PET	Botellas de bebidas, envases de alimentos y fibras textiles
<b>Poliamida</b>	PA	Ropa, cuerdas, piezas mecánicas, textiles industriales

Asimismo, se logró identificar que las principales fuentes de generación de residuos plásticos corresponden a sectores como la industria manufacturera, el embalaje, la construcción, textil, automotriz y el de la salud.

En términos generales, los residuos más representativos provienen del uso masivo de envases y empaques de un solo uso, los cuales constituyen una proporción significativa de los desechos plásticos dispuestos inadecuadamente en los ecosistemas. Adicionalmente, se evidenció que estos residuos generan impactos negativos sobre los ecosistemas, afectando la fauna, los cuerpos de agua y los suelos, principalmente por la acumulación persistente de plásticos y microplásticos en el ambiente.

En la Tabla 5 se muestran las fuentes de generación de plásticos, sus usos y los impactos que estos generan en los ecosistemas.

**Tabla 5**  
*Fuentes de generación de plástico*

Fuente de generación	Uso	Material	Impactos en ecosistemas
<b>Petroquímicas</b>	Fabricación de polímeros	PE, PP, PS, PVC	Contaminación de agua y suelo, microplásticos, liberación de químicos tóxicos, pérdida de hábitats y bioacumulación (Thompson et al., 2009; Geyer et al., 2017).
<b>Empaque y embalaje</b>	Producción de envases, bolsas y embalajes	PE, PP, PS	Alta generación de residuos plásticos, microplásticos en agua y suelo, afectación a fauna acuática (UNEP, 2018; Napper I E., 2023).
<b>Construcción</b>	Tuberías, aislantes y recubrimientos	PVC, PS, PU	Acumulación en el suelo, liberación de sustancias tóxicas, alteración de suelos y pérdida de hábitats (Mejía E et al., 2013).

Fuente de generación	Uso	Material	Impactos en ecosistemas
<b>Industria automotriz y electrónica</b>	Piezas ligeras, carcasas	PC, PP	Residuos persistentes en los ecosistemas, Riesgo de ingestión por fauna (Geyer et al., 2017, 2018).
Textil	Fibras sintéticas (poliéster y nailon)	PET, PA	Generación de microfibras, efectos en organismos acuáticos, bioacumulación (Napper I E, 2023; Thompson et al., 2009).
Salud y farmacéutica	Dispositivos médicos, empaques y prótesis	PVC, PP, PE	Contaminación por residuos peligrosos, liberación de químicos tóxicos, persistencia ambiental (Cuta Diaz, D. L, 2021).

Con el fin de identificar las estrategias más efectivas para mitigar la contaminación ambiental ocasionada por residuos plásticos, se analizaron tres enfoques principales: biotecnológico, fisicoquímico y educación ambiental.

La Tabla 6 resume la viabilidad, razón, beneficios y desafíos asociados a cada estrategia, con base en la revisión de literatura.

**Tabla 6**  
*Estrategias – Viabilidad de aplicación*

Estrategia	Viabilidad	Razón	Beneficios	Desafíos
<b>Biotecnológica</b>		Aún se encuentra en fase de desarrollo la aplicación en varios tipos de plásticos.	Potencial de degradación de plásticos sintéticos a través de microorganismos	Posibilidad de tratar plásticos de baja densidad.
(Kawai et al., 2019; Geyer et al., 2017)	Moderada	Según resultados de degradación la aplicación en plásticos complejos como el PVC es limitada.	Soluciones naturales y sostenibles	Limitada aplicabilidad a ciertos tipos de plásticos
			Alternativa con bajo impacto ambiental	Costos de implementación y escalabilidad

Estrategia	Viabilidad	Razón	Beneficios	Desafíos
<b>Fisicoquímica</b>  (Hopewell et al., 2009)	Alta	Requiere de infraestructura adecuada, avanzada y tecnología especializada	Conversión de plásticos en productos útiles como combustibles o materias primas	Consumo elevado de energía
			Puede reciclar plásticos no reciclables por métodos tradicionales.	Generación de subproductos tóxicos que requieren control
			Potencial para la economía circular	Alta inversión en infraestructura
<b>Educación ambiental</b>  (UNEP, 2018; De Smet, M., 2016)	Alta	Fácil de implementar a gran escala mediante campañas y programas educativos	Cambio de comportamiento a largo plazo en consumidores	Necesidad de una implementación continua y sostenible
			Fomento de prácticas de reciclaje y reducción de residuos.	Resultados lentos y difíciles de medir
			Reducción del consumo de plásticos de un solo uso	Requiere la colaboración de múltiples actores (gobiernos, empresas, sociedad)

Finalmente se entiende que las estrategias biotecnológicas han demostrado un notable potencial en la degradación de plásticos, particularmente mediante el uso de microorganismos capaces de descomponer polímeros sintéticos. Sin embargo, aún persisten desafíos técnicos, entre ellos la baja velocidad de descomposición en condiciones naturales. Además, las estrategias fisicoquímicas representan alternativas viables para la valorización de residuos plásticos, al permitir su conversión en productos útiles como combustibles o materias primas. No obstante, estos procesos requieren mejoras significativas en cuanto a eficiencia energética, control de emisiones y manejo de subproductos tóxicos.

En el ámbito social, las estrategias de educación ambiental han sido fundamentales para generar conciencia sobre el impacto del consumo de plásticos y promover prácticas más sostenibles entre los ciudadanos. Sin embargo, para que estas acciones sean realmente efectivas, deben estar articuladas con políticas públicas que respalden su implementación y aseguren su continuidad en el tiempo.

## **6. Análisis de resultados**

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se identificaron los principales tipos de plásticos utilizados tanto en la industria como en la vida cotidiana, destacándose materiales como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el policloruro de vinilo (PVC), y el polietileno tereftalato (PET). Estos materiales están presentes en una amplia gama de productos de uso común como envases, textiles y tuberías, debido a su versatilidad, bajo costo y funcionalidad. Sin embargo, estas mismas características han llevado a que su consumo sea masivo y posteriormente dispuestos en lugares inadecuadamente.

La investigación permitió establecer que las principales fuentes de generación de residuos plásticos corresponden a sectores como el empaque y embalaje, la industria petroquímica, la construcción y el sector textil. En estos sectores, el uso extensivo de plásticos se traduce en una alta producción de residuos, que en muchos casos son dispuestos de forma inadecuada en el ambiente. Los plásticos de un solo uso, en especial los derivados del PE, PP y PS, representan una proporción significativa de los desechos, contribuyendo a la contaminación persistente de suelos, cuerpos de agua y aire. Esta situación genera impactos negativos sobre los ecosistemas, como la afectación directa a la fauna, la alteración de suelos, la liberación de sustancias tóxicas y la presencia cada vez más alarmante de microplásticos.

Frente a esta problemática, se analizaron tres enfoques principales orientados a mitigar la contaminación ambiental por plásticos en los que se tienen las estrategias biotecnológicas, fisicoquímicas y de educación ambiental.

La estrategia biotecnológica ha mostrado un gran potencial al usar microorganismos capaces de descomponer ciertos plásticos lo cual representa una alternativa prometedora por su bajo impacto ambiental. Por otro lado, la estrategia fisicoquímica permite transformar residuos plásticos en combustibles o nuevas materias primas. Sin embargo, requiere mucha energía, infraestructura especializada y un manejo cuidadoso de subproductos. Finalmente, la educación ambiental se presenta como una herramienta poderosa ya que promueve cambios de comportamiento, fomenta el reciclaje y ayuda a reducir el consumo de plásticos innecesarios.

De acuerdo con lo anteriormente señalado, los resultados de esta investigación confirman que el problema de los residuos plásticos no tiene una solución única.

Al integrar las acciones que vienen con las soluciones tecnológicas para tratar lo que ya existe, cambios de hábitos para prevenir su generación, y políticas públicas que den soporte y continuidad a estos esfuerzos se podrá avanzar hacia un modelo de consumo más consciente y respetuoso con el entorno.

## **7. Conclusiones**

La identificación de los tipos de plásticos más comunes y sus respectivas fuentes de generación permitió establecer una relación directa entre ciertas actividades productivas y los impactos ambientales observados. Se evidenció que sectores como el de los empaques, la construcción y el textil contribuyen significativamente a la acumulación de residuos plásticos en los ecosistemas, lo que refuerza la necesidad de una gestión diferenciada por sector.

Las estrategias biotecnológicas presentan ventajas en términos de sostenibilidad ambiental, ya que promueven la degradación natural de polímeros mediante microorganismos. Sin embargo, su desarrollo a gran escala aún es limitada por factores como el tipo de plástico, el tiempo requerido para la degradación y los costos de implementación.

Las alternativas fisicoquímicas se destacan por su potencial para la valorización de plásticos no reciclables. Sin embargo, requieren condiciones técnicas especializadas, consumos energéticos

altos para su implementación y un control riguroso de subproductos, lo cual limita su aplicación en regiones que no cuenten con la infraestructura adecuada.

La educación ambiental, si bien no actúa directamente sobre los residuos ya existentes, cumple un papel estratégico en la prevención de la contaminación plástica. Al promover cambios de comportamiento, hábitos de consumo y prácticas sostenibles en las comunidades es posible reducir significativamente la generación de nuevos residuos. Para que su impacto sea efectivo, se requiere integrarla con políticas públicas, programas continuos de sensibilización, corresponsabilidad social para prevenir la generación de plásticos desde su origen.

Finalmente, se debe tener en cuenta que la lucha contra la contaminación por plásticos requiere un enfoque multidisciplinario que combine estrategias biotecnológicas, fisicoquímicas y educativas. La integración de las estrategias mencionadas anteriormente permite no solo una gestión más eficiente y sostenible de los residuos, sino que también puede generar un impacto significativo en la conciencia de la ciudadanía, promoviendo la mitigación de los impactos ecológicos, económicos y sociales que genera la contaminación por plásticos a largo plazo. En este sentido, es fundamental fomentar políticas públicas basadas en evidencia científica, promover la investigación aplicada y fortalecer la cooperación entre instituciones académicas, comunidades locales, sector productivo y entes gubernamentales. Solo a través de una acción colectiva, informada y sostenida permitiría avanzar hacia una relación más sólida con los ecosistemas y favorecer la protección de la biodiversidad y la salud humana frente a uno de los desafíos ambientales de nuestro tiempo.

## Referencias

- Afonso, M. H. F. (2011). ¿Como construir conocimiento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2), 47-62.
- Amundarain, I., Asueta, A., Leivar, J., Santin, K., & Arnaiz, S. (2024). Optimization of Pressurized Alkaline Hydrolysis for Chemical Recycling of Post-Consumer PET Waste. *Materials*, 17(11), 2619. <https://doi.org/10.3390/ma17112619>
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224>
- Arévalo Cuz, Y. M., Valenzuela Cuaspu, R. P., & García Noguera, L. J. C. (2023). Reutilización de residuos sólidos urbanos: oportunidad pedagógica para fortalecer la conciencia ambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i3.2351](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2351)
- Cuta Diaz, D. L. (2021) Iniciativas de ecodiseño en envases del sector farmacéutico para la transición hacia una economía circular. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8733>
- Danso D, Chow J, Streit WR. Plastics: Environmental and Biotechnological Perspectives on Microbial Degradation. *Appl Environ Microbiol*. 2019 Sep 17;85(19):e01095-19. doi: 10.1128/AEM.01095-19. PMID: 31324632; PMCID: PMC6752018
- De Smet, M. (2016, June). The New Plastics Economy—Rethinking the future of plastics. In *European Conference on Plastics in Freshwater Environments 21–22 June 2016 in Berlin* (p. 51)
- Deepika, S., & Jaya Madhuri, R. (2015). Biodegradation of low-density polyethylene by microorganisms from garbage soil. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3(1), 16–21
- Ertz, M., & Niemann, S. (2022). Empowering plastic recycling: empirical investigation on influence of social media on consumer behavior. *Resources, Conservation and Recycling*, 182, 106269. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106269>
- Escobar Ramírez, EE (2020). Diseño de investigación del plan para la gestión de residuos sólidos con base en el sistema Zero Waste en la comunidad del jardín botánico de la ciudad de Guatemala (Tesis doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala)
- Esmizadeh, E., Tzoganakis, C., & Mekonnen, T. H. (2020). Degradation behavior of polypropylene during reprocessing and its biocomposites: Thermal and oxidative degradation kinetics. *Polymers*, 12(8), 1627. <https://doi.org/10.3390/polym12081627>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 2115–2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Kawai, F., Kawabata, T., & Oda, M. (2019). Current knowledge on enzymatic PET degradation and its possible application to waste stream management. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 4253–4268. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09717-y>
- Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, JW. et al. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat Commun* 8, 15611 (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- López-Martínez, J. (2021). Reciclado mecánico de residuos plásticos: logros y retos. *DYNA*, 96(4), 338-339
- Mathur, G., Mathur, A., & Prasad, R. (2011). Colonization and degradation of thermally oxidized high-density polyethylene by *aspergillus niger* (ITCC No. 6052) isolated from plastic waste dumpsite. *Bioremediation Journal*, 15(2), 69–76. <https://doi.org/10.1080/10889868.2011.570281>
- Matsui, Y., Yoshida, S., & Inoue, T. (2019). Advances in the pyrolysis of plastic waste. *Journal of Cleaner Production*, 217, 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.074>
- McGlade, J., Samy Fahim, I., Green, D., Landrigan, P., Andrady, A., Costa, M., Geyer, R., Gomes, R., Tan Shau Hwai, A., Jambeck, J., Li, D., Rochman, C., Ryan, P., Thiel, M., Thompson, R., Townsend, K., & Turra, A. (2021). From Pollution To Solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution. United Nations Environment Programme
- Mejía, E., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión. *Revista CINTEX*, 18, 105–130. <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/52>
- Morita, Yoshinori & Saito, Yuko & Kumagai, Shogo & Kameda, Tomohito & Shiratori, Toshikazu & Yoshioka, Toshiaki. (2023). Alkaline hydrolysis of photovoltaic backsheet containing PET and PVDF for the recycling of PVDF. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 25. 10.1007/s10163-023-01609-8
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2023). Plastics and the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 48(1), 55-79. [doi.org/10.1146/annurev-environ-112522-072642](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112522-072642)
- Pathak, V.M., Navneet Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. *Bioresour. Bioprocess*. 4, 15 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0145-9>
- Pramila, R., & Ramesh, K. V. (2011). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water a SEM analysis. *African Journal of Microbiology Research*, 5(28), 5013-5018
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, M. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.019>

- Rico Torregrosa, A., & Jiménez Caicedo, J. (2018). Educación Ambiental para el adecuado manejo de los residuos sólidos. *Cultura Educación Sociedad*, 9(3), 281–290. <https://doi.org/10.17981/cultedusoc.9.3.2018.32>
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S., & Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169–171. <https://doi.org/10.1038/494169a>
- Sáenz, M., Borodulina, T., Diaz, L., & Banchon, C. (2019). Minimal conditions to degrade low density polyethylene by *Aspergillus terreus* and *niger*. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6), 44–51. <https://doi.org/10.12911/22998993/108699>
- Shang, J., Chai, M., & Zhu, Y. (2003). Solid-phase photocatalytic degradation of polystyrene plastic with TiO<sub>2</sub> as photocatalyst. *Journal of Solid State Chemistry*, 174(1), 104–110. [https://doi.org/10.1016/S0022-4596\(03\)00183-X](https://doi.org/10.1016/S0022-4596(03)00183-X)
- Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy conversion and management*, 115, 308-326. *Progress in Energy and Combustion Science*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375– 386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Téllez Maldonado, A. (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). Single-use plastics: A roadmap for sustainability. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takeuchi, M., et al. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>