



# Alternativas a los plásticos convencionales

Una revisión bibliográfica de investigaciones sobre materiales bioplásticos compostables

Informe Final – Versión 1.2  
Octubre 2025

© 2025 La Plataforma de Acción sobre los Plásticos de Colombia (NPAP Colombia) es una iniciativa multiactor diseñada para generar impacto, apoyada por el Global Plastic Action Partnership (GPAP) del Foro Económico Mundial. Liderada por el Gobierno de Colombia, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y coordinada localmente por WWF Colombia, tiene como objetivo principal reducir la contaminación plástica y promover la transición hacia una economía circular para el año 2040. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, incluyendo fotocopiado y grabación, o mediante cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información.

# Agradecimientos

---

NPAP Colombia expresa su profunda gratitud a todas las personas y organizaciones cuyas valiosas contribuciones hicieron posible este reporte.

Extender un especial reconocimiento al equipo de expertos que lideró la investigación, el análisis y la redacción del informe:

**Autores:**

Mario Muñoz Bernal  
Alejandra Ruiz Jimenez

**Editores**

Mario Muñoz Bernal

**Coordinación y gestión editorial**

Jonathan David Sanchez Rippe  
María Paula Arango Gonzalez

**Diseño, diagramación y versión digital:**

Agencia Content0



# ÍNDICE

---

<b>ABREVIATURAS</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>7</b>
<b>PUNTOS CLAVE</b>	<b>8</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>11</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>12</b>
RANGO TEMPORAL DE LAS INVESTIGACIONES	12
ANÁLISIS POR TIPO DE ESTUDIO	13
REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS	13
Alternativas al plástico de un sólo uso	15
Análisis de ciclo de vida - ACV	16
Estudios de tipo Experimental	19
Aplicaciones comerciales (patentes)	21
Estudios de comportamiento del consumidor	22
Estudios de modelado/proyecciones	24
MERCADO DE BIOPLÁSTICOS	26
Líderes de Mercado	28
Innovadores	29
Empresas Emergentes	29
Contendientes	29
ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO AL FIN DE VIDA UTIL DE BIOPLÁSTICOS	32
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>36</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO 1 - Metodologías del análisis del ciclo de vida</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO 2 - Análisis de ciclo de vida</b>	<b>44</b>



[www.linkedin.com/company/npap-colombia/colombia](https://www.linkedin.com/company/npap-colombia/colombia)



[colombia@globalplasticaction.org](mailto:colombia@globalplasticaction.org)



[www.globalplasticaction.org](http://www.globalplasticaction.org)

# Abreviaturas

---

**ABS:** Acrilonitrilo Butadieno Estireno

**ACV:** Análisis de Ciclo de Vida

**ASA:** Acrilonitrilo Estireno Acrilato

**B2B:** Business-to-Business (Negocio a Negocio)

**BC:** Celulosa Bacteriana

**BDPs:** Plásticos Biodegradables  
(Bio-Degradable Plastics)

**Bio-PE:** Polietileno Biobasado

**BPAT (o PBAT):** Poli(butilén adipato-co-tereftalato)

**CAGR:** Tasa de Crecimiento Anual Compuesta  
(Compound Annual Growth Rate)

**CC:** Cambio Climático

**CFs:** Filamentos de Celulosa

**CP:** Polímeros de Celulosa

**CR:** Celulosa Regenerada

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**EC:** Etilcelulosa

**E&E:** Empaques y envases

**EPS:** Poliestireno Expandido

**GEI:** Gases de Efecto Invernadero

**GWP:** Potencial de Calentamiento Global  
(Global Warming Potential)

**HDPE:** Polietileno de Alta Densidad

**I+D:** Investigación y Desarrollo

**IS:** Símbiosis Industrial

**LDPE:** Polietileno de Baja Densidad

**LLDPE:** Polietileno Lineal de Baja Densidad.

**Mt:** Megatoneladas (millones de toneladas)

**Mt/y:** Megatoneladas por año

**NC:** Nanocomuesto

**PA:** Poliamida

**PBS:** Succinato de Polibutileno

**PBSA:** Poli(butilén succinato-co-adipato)

**PCL:** Policaprolactona

**PCR: Material Reciclado Posconsumo**  
(Post-Consumer Recycled)

**PE:** Polietileno

**PEF:** Furanoato de Polietileno

**PET:** Tereftalato de polietileno

**PHA:** Polihidroxialcanoatos

**PLA:** Ácido Poliláctico

**PP:** Polipropileno

**PS:** Poliestireno

**PTT:** Tereftalato de politrimetileno

**PUR:** Poliuretano

**PUSU:** Plástico de un sólo uso

**PVC:** Cloruro de polivinilo

**R-LDPE:** Polietileno de Baja Densidad Reciclado

**REP:** Responsabilidad Extendida del Productor

**SAN:** Estireno Acrilonitrilo

**SCPC:** Copolímeros a base de almidón

**TPS:** Almidón Termoplástico

**UV:** Ultravioleta

**MCI:** Indicador de Circularidad de Materiales  
(Material Circularity Indicator)



## Resumen ejecutivo

Controlar la contaminación por plásticos requiere de múltiples estrategias para garantizar la circularidad de los materiales. En algunos casos se pueden eliminar objetos plásticos, en otras, migrar hacia elementos bajo modelos de reuso, pero en muchos casos, los Plásticos de Un Solo Uso (PUSU) son difícilmente reemplazables. Allí las estrategias se han centrado en lograr que sean elaborados en material reciclado posconsumo, o mediante el uso de otros materiales biobasados que sean Biodegradables o Compostables. Los llamados Bioplásticos Compostables, al ser materiales diferentes a los plásticos derivados de combustibles fósiles, se enfrentan a retos tecnológicos y económicos desafiantes para ser reemplazo directo en las múltiples aplicaciones de PUSU. Se realizó una revisión de la literatura científica para comprender el estado del arte de los bioplásticos biodegradables o Compostables, las tendencias de desarrollo, orígenes y aplicabilidad, al igual que una evaluación de los estados de madurez de diferentes tecnologías, evaluaciones comparativas mediante Análisis de Ciclo de Vida y el tamaño actual y esperado del mercado de los bioplásticos. Se concluye que existen ya algunas soluciones viables a gran escala pero que se trata de un mercado de nicho, por las múltiples limitaciones comparativas frente a materiales de síntesis petroquímica que pueden ser diseñados a la medida de las necesidades del producto. Por otra parte, que se requieren cambios sistémicos en toda la cadena de valor de plásticos para que los grandes beneficios de los bioplásticos biodegradables o Compostables se puedan materializar.

# Puntos clave

---

- Los bioplásticos reducen emisiones de CO<sub>2eq</sub> (50-63%) pero aumentan la acidificación (+461%) y eutrofización (+2600%) por agricultura intensiva
- Bioplásticos mal gestionados pueden duplicar emisiones vs. plásticos convencionales bien reciclados
- Los consumidores expresan confusión entre 'biodegradable', 'compostable' y 'biobasado', lo que genera una brecha de actitud-comportamiento
- Los consumidores a menudo perciben los materiales compostables como sostenibles, pero están confundidos sobre qué hacer con estos plásticos y cómo disponerlos. Es clave evitar el mercadeo verde engañoso (Greenwashing) y garantizar un etiquetado eficiente que sea claro con el llamado a la acción del consumidor para su disposición adecuada
- La reducción del consumo y el reciclaje avanzado es la mejor estrategia para reducir el impacto de los plásticos convencionales. Estrategias como el reemplazo por bioplásticos compostables es una excelente estrategia para nichos específicos, pero no es la solución definitiva
- Penetración marginal: Los Bioplásticos Compostables representan sólo el 0.5% de producción mundial actual, con proyección máxima de 3.5-3.8% para 2040
- Impacto limitado en PUSU: Proyección de 3,603 ton/año para 2030 cubriría máximo 2.1% de 170,000 toneladas prohibidas por Ley 2232 de 2022 en Colombia
- Crecimiento desde base pequeña: Aunque proyecta crecimiento 13.9% CAGR, representa sólo el 0.25% del consumo nacional de plásticos
- La introducción de Bioplásticos Compostables al mercado debe garantizar los ajustes a todo el ciclo de vida del material, en especial a la gestión de residuos y su tratamiento para garantizar su circularidad
- Es pertinente promover pocos tipos de bioplásticos compostables, para no encarecer los costos de gestión de residuos por los bajísimos volúmenes a manejar por cada material

# Antecedentes

---

La gran flexibilidad de diseño de los materiales plásticos lo ha convertido en materia prima para múltiples aplicaciones en la sociedad, brindando una variedad en composiciones, resistencias, formas, colores y mezclas con otros materiales. Las aplicaciones son múltiples para los sectores Agrícola, Construcción, Salud, Automotriz y en gran medida para la Industria y el Comercio en especial para los empaques y envases de bienes de consumo masivo, generalmente de un sólo uso. Su gran resistencia a múltiples condiciones, bajo peso comparado con otros materiales y su durabilidad lo ha posicionado como un material de amplia aplicación. Sin embargo, por su popularidad ha venido siendo utilizado para fabricar elementos de un sólo uso, con muy bajos tiempos de servicio, que rápidamente se convierten en materiales residuales, generando una problemática creciente al tener fugas hacia los ecosistemas poniendo en riesgo la Biodiversidad. Una vez en los ecosistemas, por efectos de desgaste mecánico, o condiciones físicas químicas, rayos UV y otros factores, pueden degradarse generando Microplásticos (partículas de menos de 5 micrómetros) que afectan fauna, flora, suelos, aguas y aire. Esta problemática se ha convertido en una crisis ambiental global que se suma a los temas de Cambio Climático y Biodiversidad, por los que diversas formas de solución se vienen trabajando a nivel global. Las acciones van desde prohibiciones de algunos elementos plásticos y de algunos químicos incorporados a los mismos, la implementación de impuestos a los plásticos vírgenes, los esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor de Envases y Empaques, hasta el fomento de esquemas de Reuso, de reincorporación de residuos plásticos posconsumo reciclados o la migración hacia alternativas sostenibles, entre las cuales se encuentran los plásticos biobasados con características de compostabilidad o biodegradación en condiciones específicas.

En Colombia, la ley 2232 de 2022 consciente de esta problemática, generó una serie de prohibiciones de productos plásticos de un sólo uso en dos horizontes de entrada en rigor, julio de 2024 y julio de 2030. Según estimaciones realizadas, estos elementos podrían representar cerca de un 12% del consumo aparente de plásticos del país (Minambiente, 2025) que se estima por Acoplásticos es de 1.42 millones de toneladas en el año 2023 (Acoplásticos, 2024), es decir, se prohibirán en total 170 mil toneladas de plásticos de un sólo uso.

Dentro de las Alternativas Sostenibles que la Ley 2232/22 plantea, se encuentran los plásticos biodegradables o compostables, y resulta de gran importancia poder comprender el nivel de desarrollo y opciones reales que estos materiales pueden ofrecer para las diferentes aplicaciones de un sólo uso que se propone reemplazar. Para tal fin, se realiza una revisión de publicaciones científicas a nivel mundial y en Colombia sobre estos materiales alternativos, unidas a otras fuentes secundarias sobre el tamaño de los mercados de bioplásticos, como insumo importante para la futura reglamentación sobre el tema que se derivará de la Ley 2232 de 2022, y comprender el estado de madurez, aplicabilidad y posible nivel de penetración de dichos materiales alternativos que reemplacen a futuro los plásticos convencionales de un sólo uso.

# Introducción

El objetivo del estudio se centra en la revisión de literatura académica, incluyendo estudios de casos prácticos e información secundaria del mercado de bioplásticos, que permitan identificar y describir las alternativas a los materiales convencionales plásticos de un sólo uso.

Adicionalmente, como fuentes que ayudan a comprender el contexto global y nacional entorno a los plásticos se tiene:

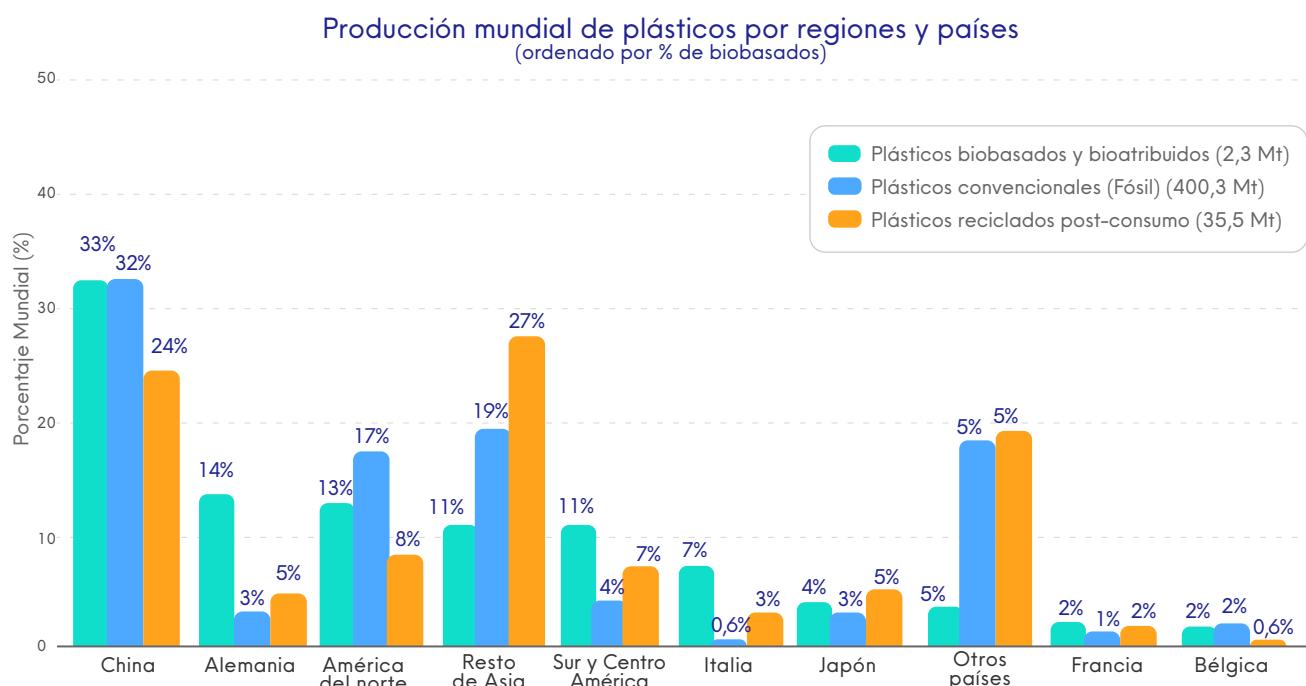
- La Ley 2232 de 2022 que plantea que se deben definir las metodologías para análisis de alternativas al PUSU, que bien pueden ser los mismos productos PUSU
- Cifras generales de plásticos convencionales y alternativas: Mundo (Plastic Europe), Colombia (Acoplásticos)

Las cifras generales de plásticos vírgenes, bioplásticos y plásticos reciclados se presentan a continuación:

China domina los 3 grupos de plásticos, América del Norte es segundo líder en plásticos convencionales y en Europa, Alemania lidera el mercado de plásticos bio-basados y reciclados posconsumo (Figura 1).

En términos de participación porcentual de mercados, la distribución del liderazgo se puede concluir que está repartida entre los grandes jugadores nacionales de plásticos convencionales.

Si bien los bioplásticos pueden plantearse como soluciones alternativas a los impactos ambientales causados por los plásticos convencionales, es importante para el alcance del presente estudio, revisar y acotar la revisión bibliográfica a aquellos materiales alternativos que busquen solucionar principalmente el tema de contaminación por plásticos asociadas a las fugas de residuos plásticos, esto es, a aquellos bioplásticos que puedan tener un ciclo de circularidad vía procesos de compostaje o biodegradación. Para ello se propone la aplicación del protocolo de ROSES (Haddaway et al., 2018) para seleccionar y sintetizar la muestra de documentos científicos a analizar en profundidad.



**Figura 1.** Producción Mundial de Plásticos Biobasados y Convencionales (2022)  
Nota: Modificado de Plastics Europe - Knowledge Hub: Plastics the Fast Facts 2023

# Metodología

La revisión bibliográfica se realizó mediante una búsqueda sistemática siguiendo el protocolo de ROSES (Haddaway *et al.*, 2018) (Figura 2), para la identificación y selección de estudios relevantes. La búsqueda se realizó en las bases de datos Scopus y Web of Science, abarcando el período comprendido entre 2015 y marzo de 2025, donde se obtuvieron 519 registros iniciales.

Se realizó la eliminación de duplicados y se procedió a realizar una revisión manual que consistió en la lectura del título, resumen y palabras clave aplicando criterios de inclusión predefinidos para estudios que abordaran: (1) soluciones sostenibles para plásticos de un sólo uso, (2) aplicaciones prácticas de alternativas biodegradables o compostables, y (3) evaluación del ciclo de vida de estos materiales.

Los criterios de exclusión comprendieron: (1) estudios sin enfoque específico en plásticos biodegradables/compostables para aplicaciones de un sólo uso, (2) investigaciones centradas exclusivamente en tecnologías de extracción sin vinculación directa con alternativas plásticas, y (3) estudios sobre producción de almidones sin aplicación en sustitutos plásticos. Este proceso resultó en la preselección de 74 artículos.

Se realizó una búsqueda complementaria con el objetivo de incorporar artículos sobre alternativas de fin de vida útil de los bioplásticos compostables, incluyendo gestión de residuos, reciclaje, compostaje, en esta búsqueda se incorporaron siete artículos relevantes. De esta forma, se seleccionaron 81 artículos para la síntesis del presente informe (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama ROSES de búsqueda, selección y síntesis de artículos sobre plásticos biodegradables y compostables como alternativa a los plásticos convencionales.

Nota: Fuente autores (2025)

# Resultados

 Los resultados del análisis de los 74 artículos seleccionados se tomaron para los años estudiados desde el punto de vista temporal para comprender las dinámicas seleccionadas inicialmente de investigación sobre el tema en los últimos 10 años. Posteriormente se realizó una categorización de los estudios, para poder sacar análisis por los temas tipificados. Las categorías de tipos de estudios publicados que se definieron son:

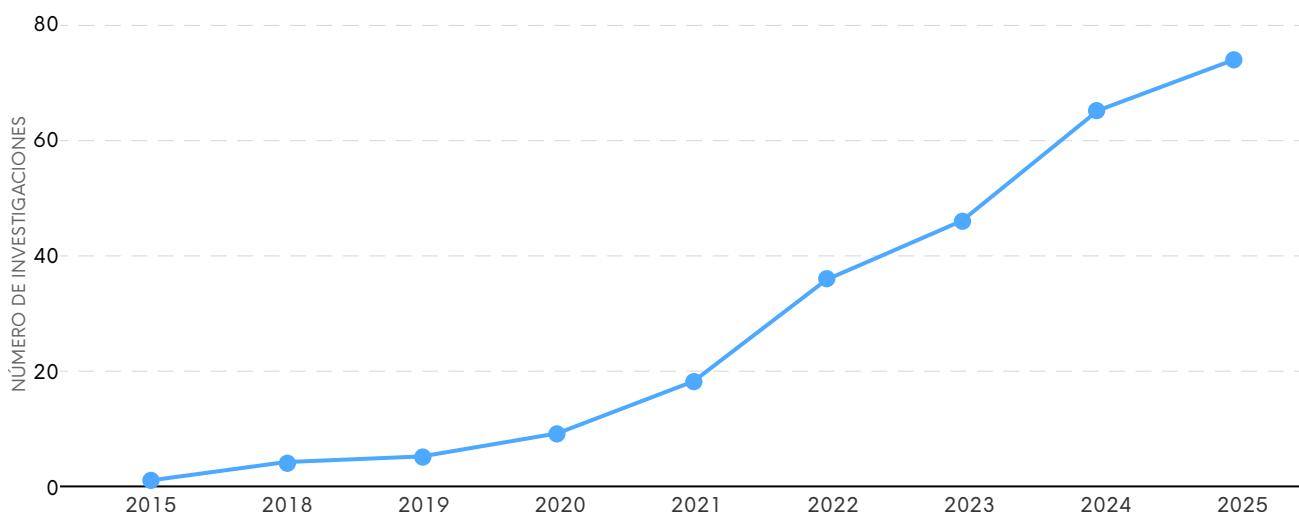
- Rango temporal de las investigaciones
- Análisis por tipo de estudio
- Revisiones bibliográficas
  - Alternativas al plástico de un sólo uso
  - Análisis de ciclo de vida - ACV
  - Estudios de tipo experimental

- Aplicaciones comerciales (patentes)
- Estudios de comportamiento del consumidor
- Estudios de modelado/proyecciones
- Mercado de bioplásticos
  - Líderes de Mercado
  - Innovadores
  - Empresas Emergentes
  - Contendientes
- Alternativas de tratamiento al fin de vida útil de bioplásticos

A continuación, se presentan los resultados sintetizados de los análisis realizados.

## Rango temporal de las investigaciones

Las investigaciones muestran un crecimiento desde el 2015, seguido de una aceleración a partir del 2021, evidenciando interés en las alternativas al plástico de un sólo uso (figura 3).



**Figura 3.** Registro acumulado de publicaciones científicas sobre alternativas al plástico de un sólo uso.  
Nota: Fuente autores (2025)

## Análisis por Tipo de Estudio

Las investigaciones se clasificaron en cinco temáticas, las **revisiones bibliográficas** fueron la mayoría de las publicaciones encontradas, con un 55.4%, evidenciando la consolidación del conocimiento existente en este campo. Los **análisis de ciclo de vida y estudios experimentales** presentaron igual representación, del 17.6% cada uno, reflejando un interés científico en evaluar tanto el impacto ambiental como la viabilidad técnica de las alternativas. Los **estudios de comportamiento** (6.8%) y **estudios de modelado** (2.7%) mostraron menor representación, sugiriendo áreas de investigación emergentes con potencial a futuro (Figura 4).

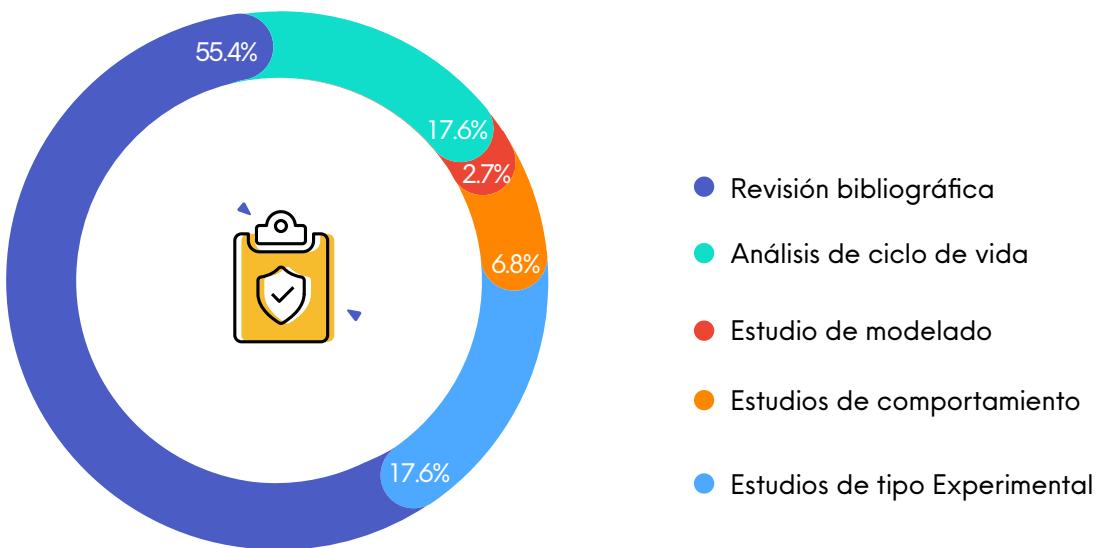


Figura 4. Clasificación de los tipos de investigaciones sobre plásticos de un sólo uso

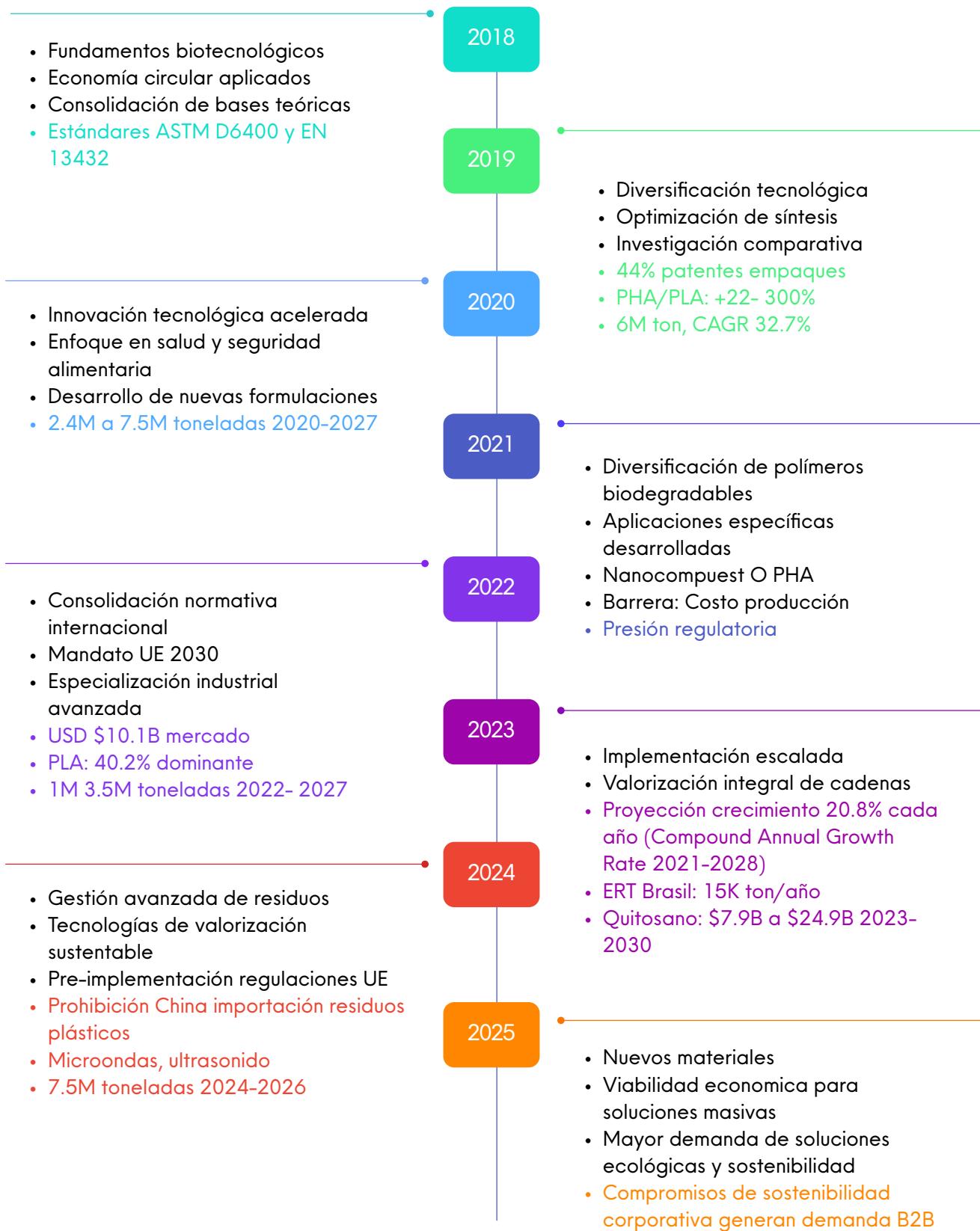
Nota: Fuente autores (2025)

# 6.8%

Los estudios de comportamiento (6.8%) y estudios de modelado (2.7%) mostraron menor representación, sugiriendo áreas de investigación emergentes con potencial a futuro

### Revisiones bibliográficas

El análisis de revisiones bibliográficas sobre alternativas a los plásticos de un sólo uso revela la evolución caracterizada por tres fases: la **consolidación teórica** (2018-2020) enfocada en consolidar los fundamentos científicos y marcos normativos; la **especialización técnica** (2021-2023) orientada hacia las aplicaciones específicas y la escala industrial; y la última fase de **integración** (2024-2025) caracterizada por la viabilidad económica, el cumplimiento regulatorio y la demanda de mercado. En la Figura 5, se presenta la temática por período evidenciando la transición desde enfoques experimentales hacia aplicaciones viables comercialmente.



**Figura 5.** Evolución temática de las revisiones bibliográficas sobre alternativas a los plásticos de un sólo uso: línea de tiempo de tendencias de investigación (2018-2025).

Nota: Fuente autores (2025)

## Alternativas al plástico de un sólo uso



Figura 6. Adaptado de Dolci et al., 2024; Sinha, 2024

### Materiales consolidados

Estos son los biopolímeros y materiales que han alcanzado un mayor grado de madurez tecnológica y presencia en el mercado, basada en los análisis de Sinha et al. (2024) y Dolci et al. (2024).

- **Ácido Poliláctico (PLA):** Bioplástico biodegradable y transparente para envases de alimentos, cubiertos desechables y películas
- **Celulosa (Celofán, Acetato):** Polímero natural para películas y recubrimientos alimentarios
- **Almidón (TPS):** Abundante, biodegradable y de bajo costo para vajillas desechables y películas agrícolas
- **Vidrio:** Percepción pública muy positiva, pero es pesado y frágil, lo que limita su flexibilidad. Reutilizable, Reciclable, no Biodegradable/no Compostable
- **Aluminio (metales):** Generalmente preferible al plástico, pero limitado para líquidos sin recubrimientos. Reutilizable, Reciclable, no Biodegradable/no Compostable.
- **Papel / Cartón:** Comparación equilibrada con el plástico, con ligera ventaja para el plástico en envases de alimentos. Reciclable, Biodegradable/ Compostable

### Materiales emergentes

Estos materiales se encuentran en una fase de desarrollo menos avanzada, pero con un alto potencial de innovación, basado en el análisis de Sinha et al. (2024).

- **Polihidroxialcanoatos (PHA):** Poliésteres bacterianos biodegradables con propiedades diversas. Se utilizan en envases de alimentos, películas agrícolas y aplicaciones médicas
- **Succinato de Polibutileno (PBS):** Biodegradable con buenas propiedades mecánicas. Se utiliza en envases de alimentos, películas agrícolas y textiles.
- **Furanoato de Polietileno (PEF):** Alternativa 100% biológica al PET con excelentes propiedades de barrera. Aún en desarrollo para producción a gran escala
- **Proteínas (Soja, Suero, Caseína):** Películas comestibles con buenas propiedades de barrera a gases, pero alta permeabilidad al vapor de agua
- **Quitosano:** Derivado de crustáceos o micelio, con propiedades antimicrobianas. Usado en recubrimientos de alimentos y películas

### Materiales en Desarrollo e Innovaciones

Esta categoría agrupa las líneas de investigación recientes, incluyendo la combinación de materiales y la valorización de subproductos, basado en los análisis de Dolci et al. (2024) y Barone et al. (2025).

- **Biopolímeros Combinados:** Se investigan activamente mezclas de almidón y proteínas vegetales, así como films inteligentes que incorporan indicadores de frescura o propiedades antimicrobianas mediante aditivos naturales como fibras de bambú o yute
- **Biocompuestos con Fibras Naturales:** El uso de fibras como bambú y yute en envases y utensilios desechables es una tendencia creciente, aunque sus prestaciones ambientales varían mucho según el producto y su ciclo de vida
- **Envases a base de Micelio:** El uso de micelio de hongos como aglutinante para residuos agrícolas está ganando terreno para crear material de embalaje de protección compostable
- **Materiales de Subproductos Agroindustriales:** La valorización de residuos como el bagazo de caña o la cáscara de aguacate es un campo de intensa actividad de investigación y patentamiento para desarrollar nuevos materiales de envasado, impulsando la economía circular

## Análisis de ciclo de vida - ACV

Este grupo de estudios resume las principales categorías de impacto ambiental en las investigaciones evaluadas bajo el ACV (Figura 6). Se observa que los aspectos relacionados con **Cambio Climático** se presentan en todos los estudios, seguido por la **Eutrofización** (61.5%), y en un tercer nivel de frecuencia se presentan las evaluaciones relacionadas con **Acidificación, Agotamiento de Recursos Fósiles** y el **Uso del Agua**. Respecto a la distribución de alcances metodológicos, el enfoque “cuna a la tumba”

predomina en 8 de los 13 estudios analizados (61.54%), confirmando la preferencia por evaluaciones integrales del ciclo de vida.

En general, se puede resaltar que los plásticos biobasados comparten los temas comunes a la actividad agrícola por su producción primaria a partir de actividades de producción de materias primas, siendo coherentes con la relevancia de los aspectos ambientales como la eutrofización incluso por encima del uso del agua.

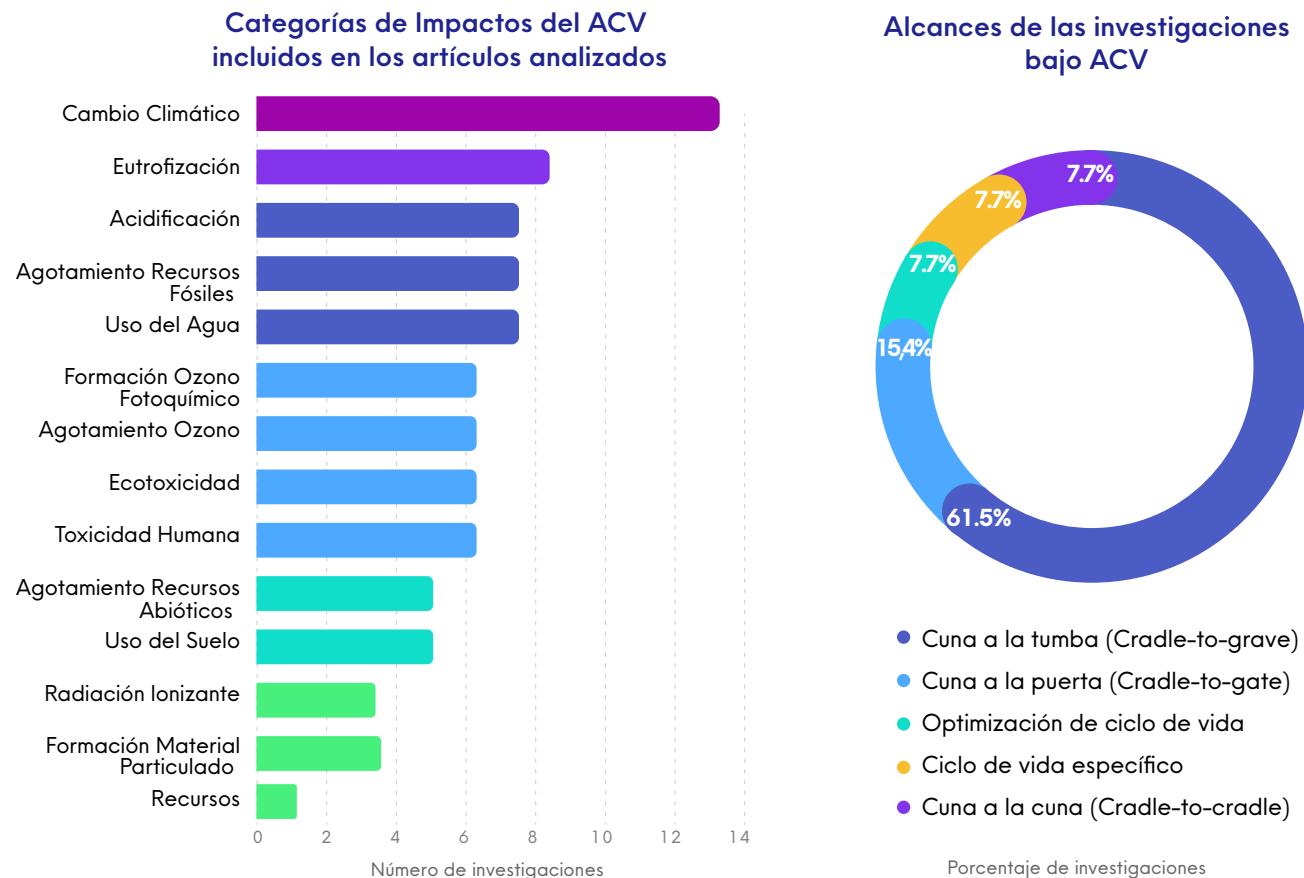


Figura 7. Categorías de Impacto y Alcances de las investigaciones de ciclo de vida plástico de un sólo uso.

Nota: Fuente autores (2025)

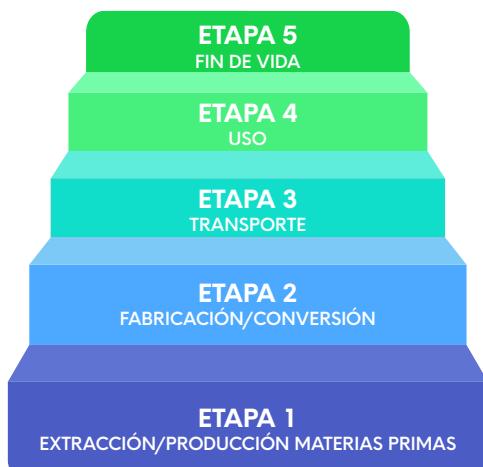


Figura 8. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Con el contexto metodológico establecido, el análisis de la literatura sobre ACV se estructura siguiendo las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta el fin de vida.

### Etapa de Extracción de Materias Primas y Fabricación

Esta fase representa el punto donde se presenta “la compensación” entre materiales biodegradables y convencionales (de origen fósil). Las alternativas biobasadas y biodegradables intercambian una menor huella de carbono por mayores impactos en categorías como la agricultura intensiva.

Los materiales biobasados y biodegradables demuestran una ventaja en las categorías relacionadas con el cambio climático y el consumo de recursos no renovables. Razza *et al.* (2015) reportan una reducción del 50% en el consumo de recursos energéticos no renovables y del 60% en emisiones de gases de efecto invernadero para espumas a base de almidón versus poliestireno expandido. Luo *et al.* (2024) documentan que el PBAT biobasado presenta un 63% menos de potencial de calentamiento global comparado con su equivalente de origen fósil. Esta ventaja se atribuye principalmente a la fijación de CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de las materias primas vegetales y a la menor dependencia de procesos petroquímicos intensivos en energía.

Sin embargo, la producción de bioplásticos genera impactos significativamente mayores en categorías asociadas a la agricultura. Koch & Mihalyi (2018) reportan incrementos en acidificación (hasta 461%) y eutrofización (hasta 2600%) para Bio-PE comparado con PE convencional. Estos impactos se originan en el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas, así como en las emisiones de gases como amoníaco y óxidos de nitrógeno durante el crecimiento agrícola. Bala *et al.* (2022) confirman este patrón, documentando que el PLA requiere 98% más uso de tierra y 79% más consumo de agua que las alternativas fósiles.

#### **Etapa de Distribución y Transporte**

La fase de distribución y transporte no representa un punto de diferenciación para las alternativas ligeras como películas o espumas. El impacto en esta etapa, principalmente en la categoría de Cambio Climático por el consumo de combustible, está directamente relacionado con el peso y el volumen del producto. Debido a que las alternativas como el PLA o las espumas de almidón tienen densidades similares a los fósiles, su impacto en el transporte es similar. De esta forma, Koch & Mihalyi (2018) lo identifican como un contribuyente menor al impacto total del ciclo de vida.

No obstante, Jakrawatana *et al.* (2023) señalan que los envases de bagazo pueden ser hasta cinco veces más pesados que los de espuma de poliestireno (PS), lo que resulta en un consumo de combustible mucho mayor durante el transporte y, por lo tanto, un impacto ambiental superior en esta etapa. Respecto a la sensibilidad logística y de origen del material, estudios como Razza *et al.* (2015) y Michaliszyn-Gabryś *et al.* (2022) demuestran que la elección del tipo de materia prima y su origen geográfico (que implica diferentes distancias y modos de transporte) puede alterar drásticamente el perfil ambiental del producto final aumentando la categoría de acidificación, emisiones de GEI, y mayor consumo de energía.

# 461%

la producción de bioplásticos genera impactos significativamente mayores en categorías asociadas a la agricultura. Koch & Mihalyi (2018) reportan incrementos en acidificación (hasta 461%) y eutrofización (hasta 2600%)



## Etapa de Uso

La etapa de uso para las alternativas a los plásticos de un sólo uso analizados versus los plásticos convencionales tiene un impacto ambiental casi nulo, debido a que no consumen energía, agua ni otros recursos durante su función principal. Los estudios suelen excluir esta etapa del análisis cuantitativo para simplificar el modelo sin perder precisión en los resultados finales (Razza *et al.* 2015 y Michaliszyn-Gabryś *et al.* 2022).

Sin embargo, existen ciertas desventajas dependiendo del rendimiento funcional del material alternativo como la protección o la eficacia como barrera. Jakrawatana *et al.* (2023) señalan que las cajas de bagazo de caña deben ser hasta cinco veces más pesadas que las de poliestireno para ofrecer la misma protección, lo que aumenta el impacto en la etapa de producción y de transporte. Respecto a la eficacia de barrera, Bala *et al.* (2022) calculan la vida útil de anaquel (*shelf life*) de las bolsas de panadería observando que el PLA tiene una barrera de humedad deficiente, haciéndolo inadecuado para alimentos secos, no obstante, el PLA y el uso de nanocomuestos se convierte en una alternativa viable y recomendada para productos de panadería fresca con una vida útil corta, ya que su función de barrera es suficiente para esos pocos días, siendo la función principal del embalaje la preservación del producto y la extensión de su vida útil, si el embalaje falla en esta función, el impacto ambiental del desperdicio del producto contenido (por ejemplo alimentos) puede ser significativamente mayor que el del propio material.

Además, el impacto también depende del comportamiento del consumidor al final de la etapa de uso. La decisión sobre cómo desechar el empaque determina su huella ambiental. Mhaddolkar *et al.* (2024) señalan la confusión generalizada de los consumidores sobre dónde tirar los plásticos biodegradables, lo que a menudo los lleva a contaminar flujos de reciclaje o a enviarlos a vertederos donde generan metano. Esta sección del comportamiento del consumidor se podrá detallar a profundidad más adelante.

## Etapa de Fin de Vida

En la etapa de fin de vida, el plástico convencional muestra su mayor debilidad y donde el éxito o fracaso de las alternativas prolifera, debido a la existencia o no de una infraestructura de gestión de residuos.

Los vertederos representan uno de los escenarios de alto riesgo para los materiales biodegradables. La descomposición anaeróbica (sin oxígeno) de los bioplásticos y el papel genera metano ( $\text{CH}_4$ ), un gas

# 43%

Jakrawatana *et al.* (2023) advierte que, si los biomateriales se gestionan incorrectamente en vertederos, todos sus beneficios climáticos se pierden, llegando a aumentar las emisiones totales en un 43% respecto al escenario base.

con un potencial de calentamiento global 28 a 34 veces mayor que el  $\text{CO}_2$ . Jakrawatana *et al.* (2023) advierte que, si los biomateriales se gestionan incorrectamente en vertederos, todos sus beneficios climáticos se pierden, llegando a aumentar las emisiones totales en un 43% respecto al escenario base. Razza *et al.* (2015) corrobora este riesgo, calculando que una biodegradación del 50% en el vertedero podría duplicar las emisiones de GEI.

La incineración con recuperación de energía y el compostaje presentan resultados contrapuestos. Para los bioplásticos como el PLA, la incineración resulta a menudo mejor ambientalmente que el compostaje debido a que la incineración generada, por la energía producida y el  $\text{CO}_2$  emitido, es de origen biogénico, mientras que el compostaje industrial consume energía y puede generar emisiones de metano, resultando en una carga neta en la categoría de cambio climático (Bala *et al.*, 2022; Mhaddolkar *et al.*, 2024).

El compostaje industrial sigue siendo la vía de valorización orgánica diseñada específicamente para bioplásticos que no se degradan en condiciones domésticas. Su gran ventaja es la capacidad de transformar un residuo en un producto útil (compost) que puede mejorar la calidad del suelo. Sin embargo, como señalan Mhaddolkar *et al.* (2024) y Atabay *et al.* (2022), el éxito de esta ruta es nulo si no existe una infraestructura dedicada: sistemas de recogida selectiva de biorresiduos, plantas de compostaje industrial capaces de gestionar estos materiales y, crucialmente, un comportamiento del consumidor que asegure que los envases compostables lleguen a dichas plantas sin contaminar otros flujos de residuos y un mercado de compost producido atractivo. Sin esta infraestructura, los bioplásticos compostables acaban en vertederos o incineradoras, perdiendo todo su potencial de circularidad.

El reciclaje mecánico es la opción con menor impacto para los plásticos convencionales, y en algunos casos

para materiales biobasados como el PLA o BDPs (Bala *et al.*, 2022; Mhaddolkar *et al.*, 2024), no obstante, en el caso de los biobasados, su implementación es inviable en los sistemas actuales debido a la contaminación de flujos y la falta de infraestructura exclusiva. Mhaddolkar *et al.* (2024) identifican el reciclaje mecánico para plásticos convencionales como el escenario más beneficioso en 14 de sus 16 categorías de impacto (excepto material particulado y uso de agua). La ventaja de la circularidad queda establecida según Stefanini *et al.* (2024), que concluye que el LDPE reciclado (R-LDPE) es superior a todas las demás opciones, incluyendo los bioplásticos. Sin embargo, el éxito del reciclaje depende críticamente del diseño del producto: colores oscuros, etiquetas de materiales incompatibles o adhesivos insolubles pueden dañar el potencial de reciclabilidad de un envase, aumentando su impacto ambiental (Keller *et al.*, 2022).

## Estudios de tipo Experimental

En este segmento se sintetizan los artículos que se enfocan en el desarrollo, la fabricación y la caracterización de nuevos materiales biodegradables como alternativas sostenibles a los plásticos convencionales para aplicaciones de envases de alimentos y productos de un sólo uso.

### Derivados de Celulosa y Lignocelulosa

La celulosa de alta pureza y los subproductos agroindustriales son las materias primas más exploradas debido a su abundancia y robustez estructural. La celulosa bacteriana (BC), extraída de kombucha, es eficaz para fabricar vajillas y utensilios desechables. Al combinarla con etilcelulosa (EC), se obtienen materiales con una alta resistencia a la tracción y una notable estabilidad en ambientes líquidos, ideales para pitillos y recipientes de alimentos (Deng *et al.*, 2024). De manera similar, los filamentos de celulosa (CFs), obtenidos de pulpa kraft refinada, son eficaces para producir papel de embalaje con una reducida permeabilidad al vapor de agua, una propiedad fundamental para la protección de alimentos (Abenghal *et al.*, 2025).

En el caso de los subproductos agroindustriales, como residuos como paja de cereal (Rossi *et al.*, 2020), posos de café o rípido (Bhattarai & Janaswamy, 2023) y cáscaras de almendra (Root *et al.*, 2023) han demostrado la viabilidad de producir biocompuestos rígidos mediante moldeo por inyección, ideales para productos de un sólo uso. Root *et al.*, (2023) incorporan cáscara de almendra en PBSA y mejoran la temperatura de deflexión por calor y la rigidez del material. La principal ventaja de esta aproximación es la reducción de costos y la gestión de



Mhaddolkar *et al.* (2024) y Atabay *et al.* (2022), el éxito de esta ruta es nulo si no existe una infraestructura dedicada: sistemas de recogida selectiva de biorresiduos, plantas de compostaje industrial capaces de gestionar estos materiales y, crucialmente, un comportamiento del consumidor que asegure que los envases compostables lleguen a dichas plantas sin contaminar otros flujos de residuos y un mercado de compost producido atractivo. Sin esta infraestructura, los bioplásticos compostables acaban en vertederos o incineradoras, perdiendo todo su potencial de circularidad.

residuos. Sin embargo, tiene un desafío técnico que es la baja compatibilidad interfacial entre la fibra hidrofílica y la matriz polimérica, lo que a menudo requiere el uso de agentes compatibilizantes para optimizar el rendimiento mecánico.

### **Basados en almidones**

El almidón, proveniente de diversas fuentes como la yuca, papa, maíz, semilla de jaca (fruto del árbol del pan) y batata, se posiciona como una gran fuente experimental de bioplásticos por su bajo costo y buena biodegradabilidad. La aplicabilidad de estos materiales tiene principalmente dos enfoques para la creación de películas para empaque de alimentos. El primero es la incorporación de compuestos bioactivos para crear empaques activos; un ejemplo es la extrusión de películas de almidón de yuca con subproductos de propóleo, que confieren al material propiedades antioxidantes y antibacterianas (Bertotto *et al.*, 2022).

El segundo enfoque es la combinación del almidón con otros biopolímeros, para esto se han desarrollado películas multicapa combinando amilopectina de maíz con gelatina de pescado (Oliver-Cadena *et al.*, 2024) y mezclas de almidón de papa con diversas gelatinas (Mroczkowska *et al.*, 2021) para mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad en contacto con la humedad. La principal ventaja del almidón es su accesibilidad y bajo impacto ambiental, pero su hidrofilia sigue siendo el desafío técnico más significativo, requiriendo combinaciones estratégicas y el uso de plastificantes como el glicerol para ser viable en aplicaciones de empaque exigentes.

### **Derivados de Proteínas**

Las proteínas, obtenidas de diversas fuentes como la gelatina de subproductos de la industria pesquera y de curtiembre, el colágeno y la zeína de maíz, son valoradas por su excelente capacidad para formar películas transparentes y biodegradables. Aunque estos materiales son sensibles al agua, se pueden realizar modificaciones para mejorar su resistencia mediante dos estrategias, el entrecruzamiento de las cadenas proteicas y la laminación multicapa. Se ha empleado el entrecruzamiento enzimático con transglutaminasa (Oliver-Cadena *et al.*, 2024), la reacción de Maillard con glucosa (Muralidharan *et al.*, 2024) y el uso de taninos naturales (Muralidharan *et al.*, 2024) para crear enlaces covalentes que refuerzan la estructura, mejorando la resistencia al agua, la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas de los materiales resultantes. La laminación multicapa, combinando la gelatina con otros biopolímeros como el almidón de papa o la amilopectina



■ ■ ■ La celulosa de alta pureza y los subproductos agroindustriales son las materias primas más exploradas debido a la circularidad de residuos y la no competencia con la seguridad alimentaria.

Deng *et al.*, 2024 ■ ■ ■

de maíz, se utiliza para crear una barrera física y mejorar las propiedades del conjunto (Mroczkowska *et al.*, 2021; Oliver-Cadena *et al.*, 2024). Gracias a estos avances, la gelatina se convierte en un material viable para el desarrollo de películas de empaque funcionales y vajillas desechables que requieren mayor durabilidad y contacto con humedad.

### **Basados en hongos**

El micelio como aglutinante natural representa una innovación para la creación de materiales de empaque, específicamente como sustituto del poliestireno. Esto es gracias a que las paredes celulares del micelio contienen glucano, quitina y proteínas extensivamente entrecruzadas, actuando como plastificantes naturales, lo que contribuye a una mayor elongación del material. Los estudios experimentales se centran en el cultivo de diversas especies de hongos como *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* y *Berkandera adusta* sobre sustratos de residuos

agrícolas, como la paja de trigo (Wang et al., 2025). Los resultados demuestran que estas bio-espumas poseen una densidad y firmeza a la compresión comparables a las espumas de empaque convencionales, siendo una alternativa viable para amortiguación y protección de productos. Sin embargo, las propiedades mecánicas y de absorción de agua del producto final dependen críticamente de la especie fúngica seleccionada y de las condiciones de cultivo, lo que requiere una cuidadosa optimización del proceso para garantizar su rendimiento.

### Derivados de Lípidos (Basados en Aceites)

Los lípidos de origen vegetal, como los aceites de ricino (aceite de castor), soja y palmiste, se están explorando para desarrollar recubrimientos de base biológica para papel, para reemplazar los revestimientos plásticos y los recubrimientos híbridos. El enfoque experimental se basa en la modificación química de estos aceites para crear resinas, como la silanización del aceite de ricino y de soja, o la combinación de aceite de palmiste con alcohol furfurílico, son clave para modificar el lípido. Estas resinas se aplican sobre el papel y se entrecruzan para formar una película uniforme que tapa los poros del material celulósico. Parvathy & Sahoo (2021) señalan que la modificación química del aceite de ricino epoxiado para crear resinas silanizadas resultan en un papel recubierto con una excelente repelencia al agua, una reducción en la tasa de transmisión de vapor de agua y una mejor estabilidad térmica, haciéndolo funcional para la industria de empaques de alimentos y bebidas.

### Extractos y Resinas Naturales (como aditivos o agentes activos)

Se utilizan algunos extractos y resinas naturales como aditivos activos para aportar propiedades funcionales, como resistencia al agua, propiedades antioxidantes y antimicrobianas, mayor resistencia mecánica a los biomateriales y que interactúen con el producto para mejorar su conservación. Bertotto et al. (2022) señalan que el subproducto de propóleo se ha incorporado en películas biodegradables a base de almidón de yuca y PBAT, demostrando que la adición de este extracto no sólo mejora las propiedades mecánicas de la película, sino que le otorga una potente actividad antioxidante y antibacteriana prolongando así la vida útil de los alimentos envasados. Sin embargo, se debe asegurar que la adición de estos extractos no comprometa negativamente otras propiedades esenciales del material, como la procesabilidad o la estabilidad.

### Aplicaciones comerciales (patentes)

La transición hacia empaques biodegradables se refleja también en la innovación tecnológica y en las patentes. Barone et al. (2025) señalan que el 44% de las patentes mundiales en el campo de los polímeros biodegradables están directamente relacionadas con aplicaciones de empaque y envases, siendo China líder con el 66% de los documentos de patente analizados.



Respecto a las materias primas, el estudio de Barone *et al.* (2025) muestra una clara preferencia por los polisacáridos, que constituyen el 73% de los documentos analizados. Dentro de esta categoría, el almidón y el ácido poliláctico (PLA) son los materiales más mencionados. También se observa un interés creciente en el uso de proteínas como la zeína y la caseína, en polímeros como los polihidroxialcanoatos (PHAs), y en la valorización de subproductos agroindustriales como residuos de jaca y bagazo de caña de azúcar como materia prima. Además de la creación de nuevos materiales, las tendencias en I+D se enfocan en la mejora de las propiedades de barrera de los bioplásticos, la reducción de costos de producción y el desarrollo de "envases inteligentes" con indicadores de frescura, un campo en el que China también lidera la presentación de patentes a nivel mundial.

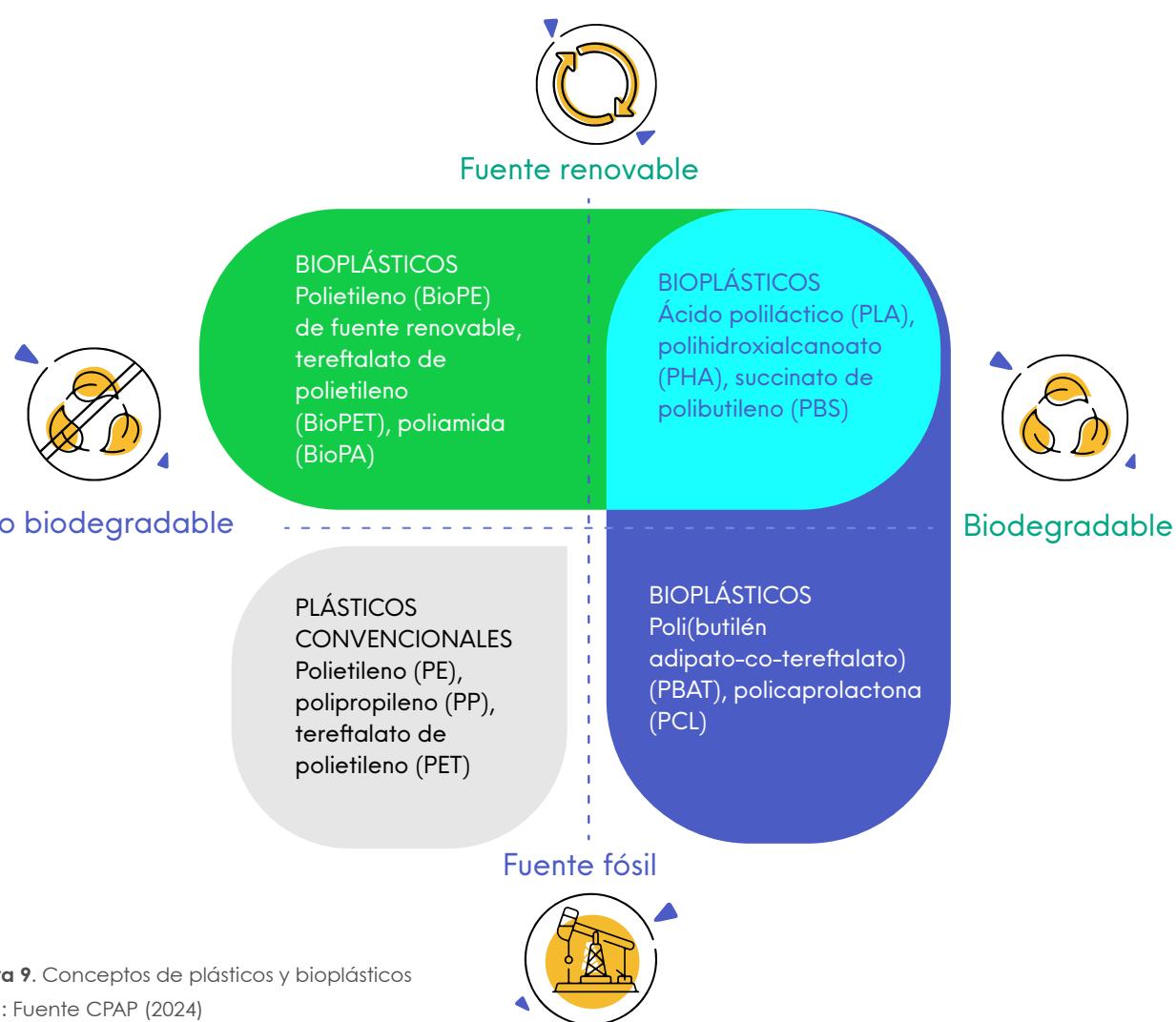
## Estudios de comportamiento del consumidor

En este segmento, se sintetizan los hallazgos de cinco estudios en diferentes ámbitos geográficos (Reino

Unido, Brasil, Nueva Zelanda, Colombia), sobre el comportamiento de los consumidores en relación con los bioplásticos y los empaques sostenibles. Se examinan las percepciones, las brechas entre la actitud y el comportamiento real y las barreras de adopción.

### Percepción y Comportamiento del Consumidor

Las personas tienen en general una percepción positiva sobre los bioplásticos. Sin embargo, se presenta una gran confusión terminológica entre biodegradable, compostable, reciclabl e y biobasado (figura 7), lo que genera escepticismo y desconfianza (Allison *et al.*, 2021). Esta falta de conocimiento se extiende al fin de vida de los productos donde la mayoría de las personas encuestadas en diferentes contextos geográficos creen erróneamente que los bioplásticos pueden ser desecharados en cualquier entorno y se degradaran sin impacto o que son reciclables en los sistemas convencionales (Allison *et al.*, 2021; Pinto Torres *et al.*, 2023).





**Biodegradable** es la capacidad de un material de ser descompuesto por microorganismos (bacterias, hongos) en elementos naturales como agua, dióxido de carbono, biomasa y depende de las condiciones del entorno (Allison et al., 2021 y Pinto Torres et al., 2023). Pueden ser procesos de transformación llevados a cabo en plantas de compostaje o en biodigestores.



**Recicitable** es la capacidad de un material de ser recolectado, procesado y transformado para fabricar, con el material procesado, el mismo producto o uno nuevo.



**Biobasado**, se refiere al material que se produce, total o parcialmente, a partir de recursos biológicos renovables, como el maíz, la caña de azúcar, la papa u otras fuentes biológicas, en lugar de petróleo (La Fuente et al., 2022; Nuojua et al., 2024).



**Compostable** es un material que garantiza que se biodegradará completamente en un período de tiempo determinado y bajo las condiciones controladas de una planta de compostaje, sin dejar residuos tóxicos (Allison et al., 2021).

### Brecha Actitud-Comportamiento

La discrepancia entre la intención declarada y lo que realmente se consume genera una enorme brecha debido a que la mayoría de los consumidores afirman estar dispuestos a pagar más por productos con empaques sostenibles. Por ejemplo, Pinto Torres et al., (2023) en Cali, Colombia, afirman que el 80% de los consumidores encuestados están dispuestos a pagar más por un producto compostable. No obstante, la industria asegura que, en la práctica, el precio sigue siendo el factor decisivo y temen que un aumento de costos, derivado del uso de bioplásticos, resulte en una pérdida de ventas, ya que el consumidor optaría por la alternativa más económica (Pinto Torres et al., 2023). La mayoría de las veces, la calidad del producto, la marca y el precio tienen más peso que la sostenibilidad del empaque en la decisión de compra final (Allison et al., 2021) (Figura 8).

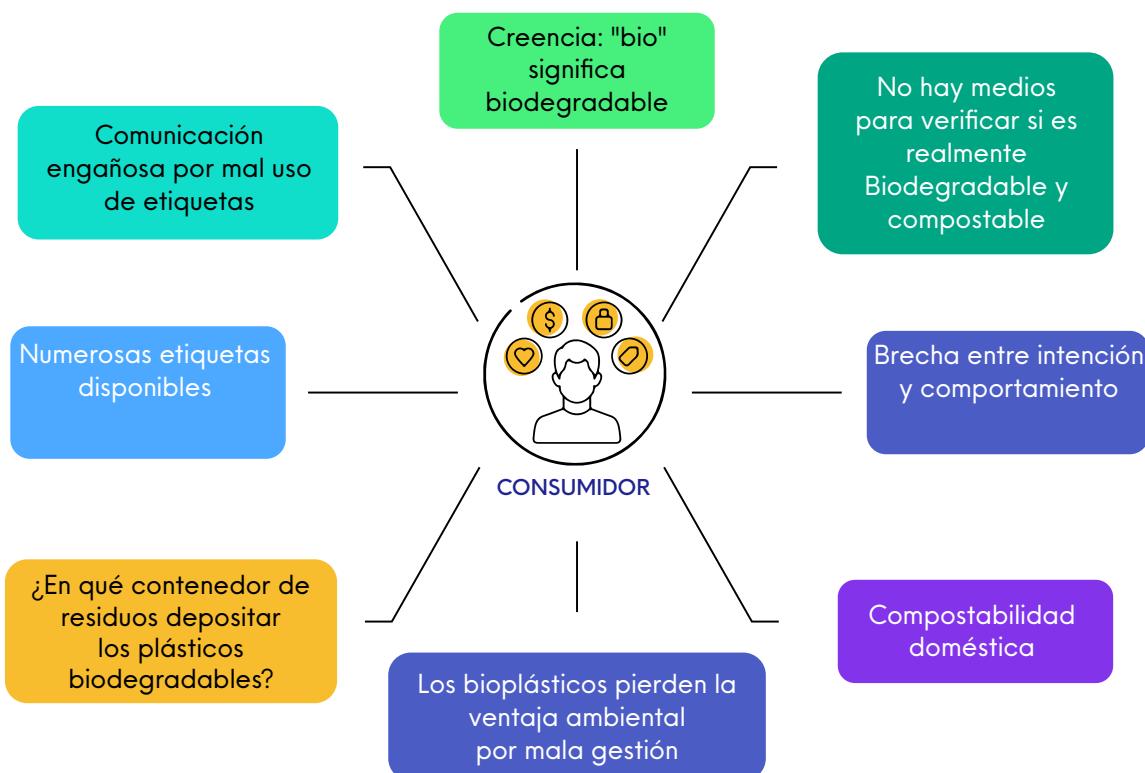


Figura 10. Percepción de los consumidores

Nota: Modificado de Mhaddolkar et al. (2024)

## Barreras para la adopción de empaques sostenibles

El mayor obstáculo es la falta de infraestructura de recolección y procesamiento en todos los contextos geográficos estudiados, sin sistemas de recolección separada y plantas de compostaje industrial, los bioplásticos pierden su ventaja ambiental y terminan en vertederos, donde pueden generar metano, o contaminan los flujos de reciclaje existentes, agravando el problema (Pinto Torres et al., 2023). Adicionalmente, los sistemas de reutilización y los empaques sostenibles compiten en un “campo de juego desigual”, ya que el costo ambiental y social de los plásticos de un sólo uso no se refleja en su precio (Diprose et al., 2023).

En Colombia, aunque existe la legislación sobre la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) de Empaques y Envases, la efectividad del reciclaje sigue siendo baja debido a los pocos programas estructurados, incumplimiento de normativas sobre separación en la fuente, y falta de incentivos o multas (Pinto Torres et al., 2023). Es necesario que todos los actores, incluidos los importadores se alineen para cumplir el objetivo sostenible (Pinto Torres et al., 2023).

La reducción de consumo y el reciclaje avanzado es la mejor estrategia para reducir el impacto de los plásticos convencionales. Estrategias como el reemplazo por bioplásticos es una excelente estrategia para nichos específicos, pero no es la solución definitiva.

construcción, ya que reemplazan materiales vírgenes y evitan el impacto de su etapa de producción. Con esta estrategia Karayilan et al., (2021) obtuvieron una reducción del 68% del impacto en el cambio climático y del 65% en la ecotoxicidad marina. Los productos que más contribuyen a este beneficio son las bolsas de plástico y las bandejas de alimentos, que representan el 39% y 78% respectivamente en el total de cargas ambientales evitadas dentro del sector del empaque. Sin embargo, esta estrategia es exclusiva en un contexto europeo, lo que impide su uso en otras áreas geográficas con diferentes infraestructuras y políticas

- El **Reciclaje Eficiente** es el aumento en el rendimiento de los procesos de reciclaje existentes, ya que al mejorar la eficiencia se obtienen beneficios ambientales significativos como la reducción de los residuos que van a incineración o vertedero y provee más materia prima para la simbiosis industrial. Esta estrategia es ventajosa ya que con un aumento del 6% en la eficiencia del reciclaje puede generar un incremento del 8% en los beneficios climáticos y hasta un 23% en la reducción de la ecotoxicidad marina, demostrando que la inversión en tecnología de reciclaje es una de las acciones más rentables desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, el modelo comienza en el punto en que los residuos plásticos son recolectados y llegan a una instalación de clasificación, dejando por fuera la problemática previa a la recolección
- Los **productos biobasados biodegradables compostables** son de origen de fuentes renovables y al final de su vida útil se descomponen bajo condiciones industriales para convertirse en mejoradores de suelos. La ventaja de este enfoque es la contribución a la circularidad teórica del sistema. Al utilizar el “Material Circularity Indicator” (MCI), el escenario que incluye bioplásticos alcanza la puntuación más alta, ya que se alinea perfectamente con los principios de un ciclo biológico cerrado, ofreciendo una solución prometedora para reducir la dependencia de

## Estudios de modelado/proyecciones

En este segmento se sintetizan los dos estudios, un modelo de optimización enfocado en la cadena de valor, que busca identificar las mejores estrategias circulares para el presente (Karayilan et al., 2021) y un modelo de predicción a escala global, que proyecta el futuro del consumo y los residuos de plástico bajo diferentes escenarios (Dokl et al., 2024).

## Optimización de la cadena de valor del empaque

Karayilan et al., (2021) utilizan un modelo de optimización para evaluar el impacto real de tres estrategias de economía circular en la cadena de valor de los empaques plásticos en Europa, donde buscan la combinación que maximiza los beneficios ambientales (reducción de GEI y ecotoxicidad marina) y de circularidad. Se evaluaron tres estrategias, la simbiosis industrial, mejorar la eficiencia del reciclaje y la introducción de bioplástico

- La **Simbiosis Industrial** es la valorización de los residuos plásticos de un sector como materia prima de otro sector. Esta simbiosis demuestra que la mayor ganancia ambiental se obtiene cuando los residuos plásticos, sobre todo en empaques y envases, se reincorporan en cadenas de valor de alto rendimiento, como la automotriz o la de

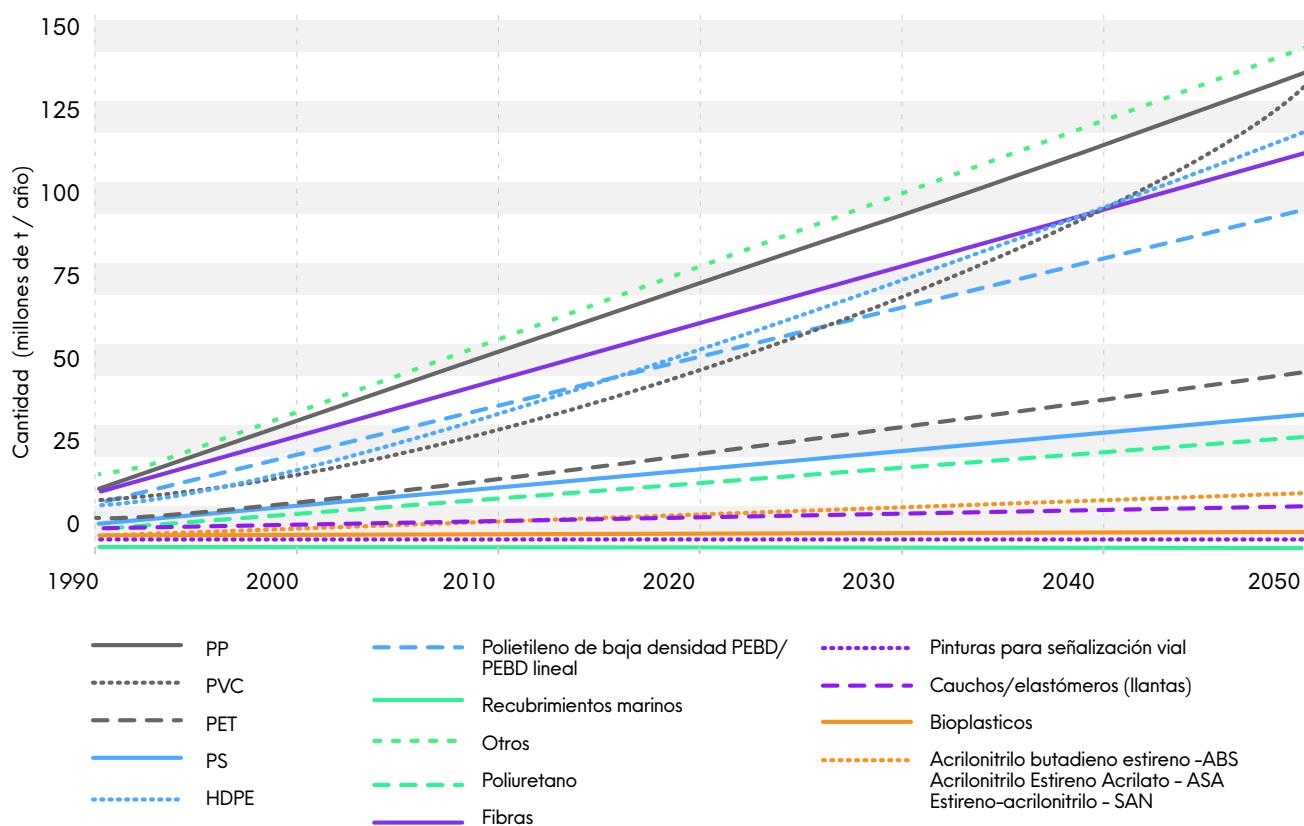
los recursos fósiles y gestionar los residuos de una manera regenerativa. Además, mejores tecnologías de reciclaje y opciones de simbiosis industrial (IS) para los plásticos biodegradables de base biológica en el futuro, podrían generar más beneficios. Sin embargo, esta estrategia muestra que un sistema con bioplásticos compostables genera un beneficio ambiental ligeramente menor en términos de reducción de gases de efecto invernadero y ecotoxicidad marina en comparación con un sistema que optimiza el reciclaje de plásticos convencionales, pero si la tecnología de compostaje mejora significativamente, los resultados podrían inclinarse a favor de los bioplásticos.

### Proyecciones Globales del Uso de Plástico y Escenarios Futuros

Dokl et al. (2024) proporcionan proyecciones detalladas de la situación actual y si continuamos con la producción y crecimiento actual, y examinan intervenciones de sostenibilidad mediante políticas y la sustitución por bioplásticos biobasados:

### Trayectoria Actual al 2025

El escenario base de Dokl et al. (2024) proyecta un crecimiento exponencial si se mantiene la trayectoria actual, estimando que el uso global de plástico estará cerca de duplicarse, pasando de 464 Mt en 2020 a 884 Mt en 2050. Esto resultaría en una acumulación máxima de 4,725 Mt de plástico en "stock" (materiales en uso como edificios, vehículos, etc.) desde el 2000 al 2050. Este crecimiento estará impulsado en gran medida por China y por la acelerada demanda en otras regiones de Asia como India. A nivel de materiales, la tendencia es alcista, el PVC y el PP serán los plásticos más utilizados para 2050, con un aumento de 2.5 veces para el PVC en los próximos 30 años. Asimismo, los plásticos clave para el sector de empaques (como PP, HDPE y PET) también experimentarían un crecimiento significativo, duplicando su uso entre 2020 y 2050 (Figura 9).



**Figura 11.** Proyección del uso global de plástico por tipo de polímero hasta 2050 (Mt/y). PP (Polipropileno); PVC (Cloruro de polivinilo); PET (Tereftalato de polietileno); PS (Poliestireno); HDPE (Polietileno de alta densidad); LDPE/LLDPE (Polietileno de baja densidad y lineal); PUR (Poliuretano); ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno); ASA (Acrilonitrilo estireno acrilato); SAN (Estireno acrilonitrilo)

Fuente: Adaptado de Dokl et al. (2024)

## El Impacto de las Políticas de Reducción

Dokl et al. (2024) demuestran que las políticas son efectivas para modificar la trayectoria de crecimiento del consumo de plástico. Si se logra estabilizar el consumo (crecimiento 0%) o incluso reducirlo ligeramente (-0.5 o -1%) se podría evitar la producción de cientos de millones de toneladas de plástico para 2050, cambiando drásticamente la curva de crecimiento. Un ejemplo son los objetivos concretos para el sector de empaques, una meta de reducción del 15% para 2040, resultaría en una disminución real del 27.3% en el uso de plástico para este sector en 2050 (bajando de 138 Mt a 100 Mt). Asimismo, un objetivo de reciclaje del 55% para 2030 podría aumentar 5 veces la cantidad de material recuperado, alcanzando 189 Mt de envases reciclados en 2050, una cifra muy superior a los 34 Mt proyectados en la trayectoria actual.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el modelo simula

escenarios de éxito de estas políticas, sin tener en cuenta los desafíos económicos, logísticos y sociales necesarios para la implementación de estas políticas.

## Sustitución por Bioplásticos

La sustitución de los plásticos convencionales por bioplásticos (biobasados como Bio-PET) reduce la dependencia del petróleo y puede introducir materiales en un ciclo biológico si son biodegradables. Sin embargo, el costo en recursos naturales para satisfacer la demanda proyectada es muy alto, se necesitan áreas de tierra masivas para el cultivo de biomasa, lo que podría generar conflictos con la seguridad alimentaria, la deforestación y la pérdida de biodiversidad. No obstante, el modelo no aborda materiales compostables de subproductos agrícolas, una alternativa que no competiría directamente por la tierra y que podría plantear un escenario de sostenibilidad completamente diferente.



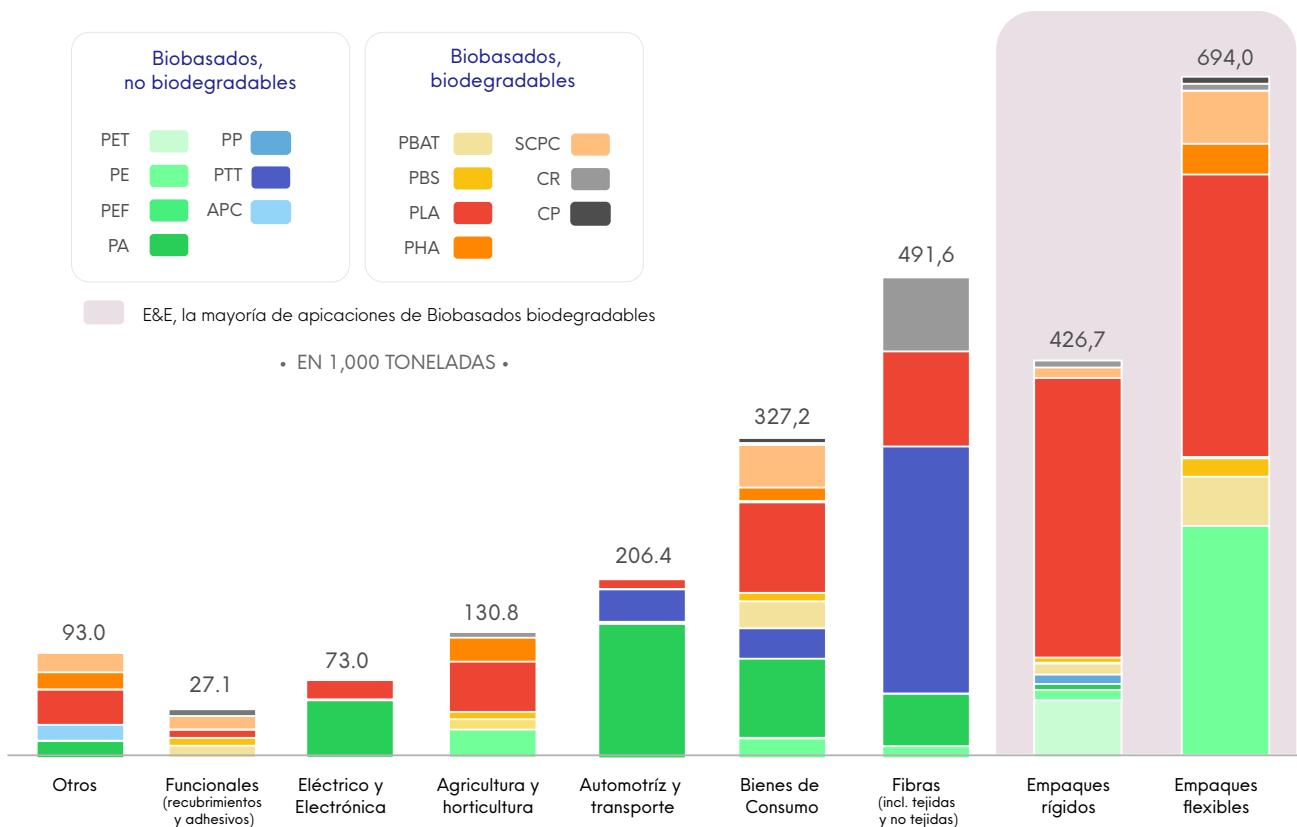
## Mercado de Bioplásticos

A nivel mundial las capacidades instaladas al 2023 (figura 10) y sus aplicaciones se pueden resumir en:

- Bioplásticos representan el 0.5% de la producción mundial de plásticos
- Los bioplásticos Biodegradables ascienden al 0.38% de la producción mundial de plásticos
- E&E y Textiles concentran la mayoría de los desarrollos aplicados biodegradables
- Las aplicaciones de Bioplásticos a E&E representan el 0.2% de la producción global de plásticos
- Biodegradables en E&E son la inmensa mayoría de E&E rígidos y más de la mitad de los E&E flexibles
- PLA es el bioplástico biodegradable con mayor capacidad de producción actualmente
- Expectativa de crecimiento podría ser hasta del 20.8% interanual

**27.3%**

Una meta de reducción del 15% en el uso de plásticos para empaques y envases para el 2040 resultaría en una disminución real del 27.3% en el uso del plástico para este sector en el 2050.



**Figura 12.** Capacidades globales de producción de bioplásticos por segmentos de mercado (2023)

Nota: Recuperado en: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2023-2/>

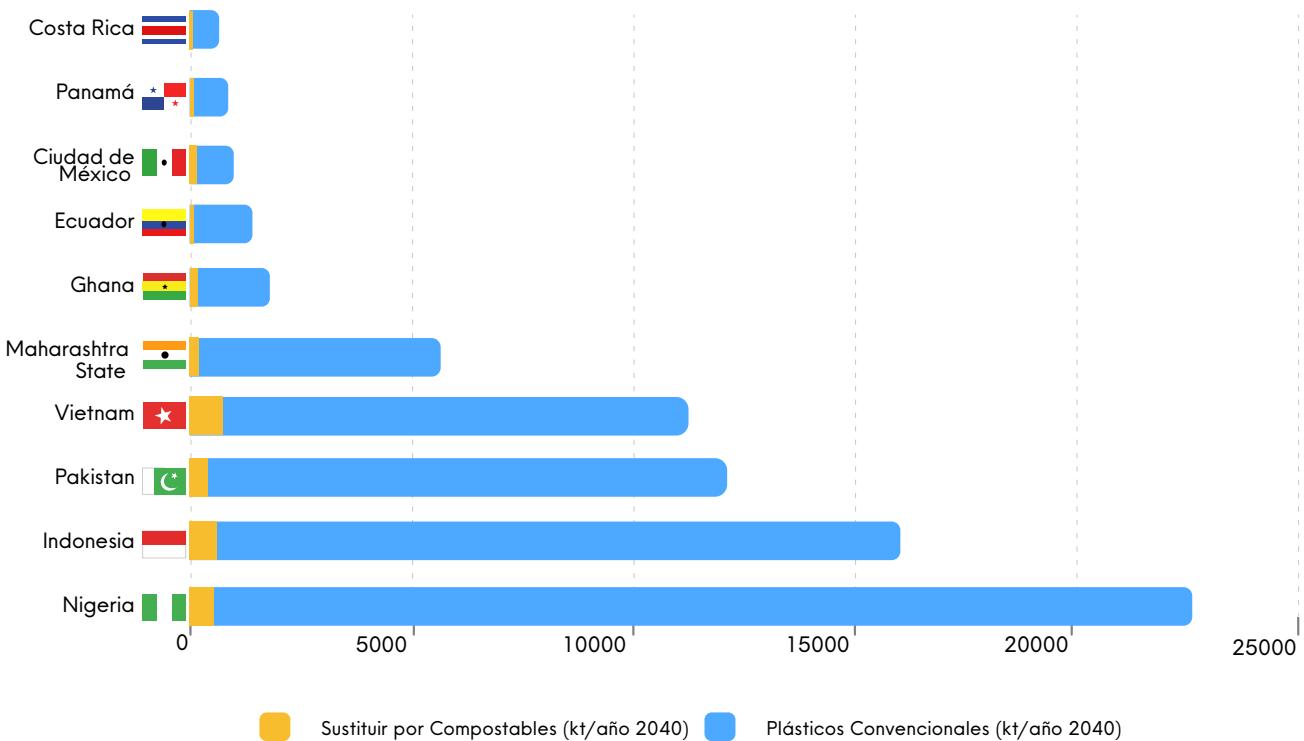
Analizando las tasas proyectadas de crecimiento esperadas tanto para la producción de plásticos convencionales a 2040 así como el crecimiento de los Bioplásticos Biodegradables se podría esperar que su participación ascienda de 0.38% hasta un 3.5% en 2040 si se mantiene un CAGR del 15% de forma sostenida.

La iniciativa GPAP (Global Plastics Action Partnership) del Foro Económico Mundial ha venido implementando plataformas nacionales de acción sobre la contaminación por plásticos desde el 2020, llegando a la fecha a 25 NPAP (National Plastic Action Partnership), donde diez de ellas ya cuentan con unas Hojas de Ruta definidas al 2040 para lograr una reducción sustancial

de la contaminación por plásticos con un modelo de intervención con medidas tanto aguas arriba (Ecodiseño, Eliminación, Reducción, nuevos modelos de distribución y reuso, y la sustitución de plásticos convencionales por otros materiales o **por bioplásticos compostables**), como aguas abajo (mejoras de separación en la fuente, recolección, reciclaje y otras formas de aprovechamiento). De los escenarios de cambio planteados en todas las Hojas de Ruta vigentes de las NPAP, se tiene la expectativa de lograr que los Bioplásticos Biodegradables/ Compostables puedan llegar a sustituir en promedio un 3.8% de la cantidad de residuos plásticos proyectados en el Business as Usual (BAU) al 2040 (figura 11).

# 3.8%

Se tiene la expectativa de lograr que los Bioplásticos Biodegradables/ Compostables puedan llegar a sustituir en promedio un 3.8% de la cantidad de residuos plásticos proyectados



**Figura 13.** Escenario de Cambio al 2040 de las diferentes Hojas de Ruta de las NPAP en el mundo y la participación esperada de sustitución por Bioplásticos (2025)

Nota: Fuente autores (2025) – Datos base de cálculos tomados de los documentos de las Hojas de Ruta de cada NPAP desde <https://www.globalplasticaction.org/countries> (2025)

Los actores clave que lideran la producción e innovación en el sector son registrados en el reporte de 360 Quadrants (2024) donde se presenta el panorama competitivo, permitiendo visualizar el posicionamiento de las empresas según su portafolio de productos y su presencia en el mercado. La Figura 12 posiciona a las empresas según dos ejes principales: la Presencia en el Mercado (eje vertical), que mide la madurez y el alcance comercial, y la Huella del Producto (eje horizontal), que evalúa la amplitud y la innovación del portafolio. El análisis revela cuatro perfiles de actores clave:

## Líderes de Mercado



**Especialistas en Compostables:** Las empresas como NatureWorks (líder mundial en PLA), Total Energies Corbion (segundo productor de PLA), Versalis (Novamont) (líder en bioplásticos a base de almidón) y BASF (productor clave del polímero compostable PBAT) son clasificados por Quadrants (2024) como los pilares de la industria de los compostables por su alta presencia y amplio portafolio son los proveedores de la materia prima para miles de productos de un sólo uso



**Líder en Bio-Basados:** Empresas como Braskem es líder de mercado por el polietileno “verde” (bio-PE), que es de origen vegetal, pero es químicamente idéntico al plástico tradicional, por lo que es reciclabl en la infraestructura tradiconal, pero no es biodegradable ni compostable

## Innovadores

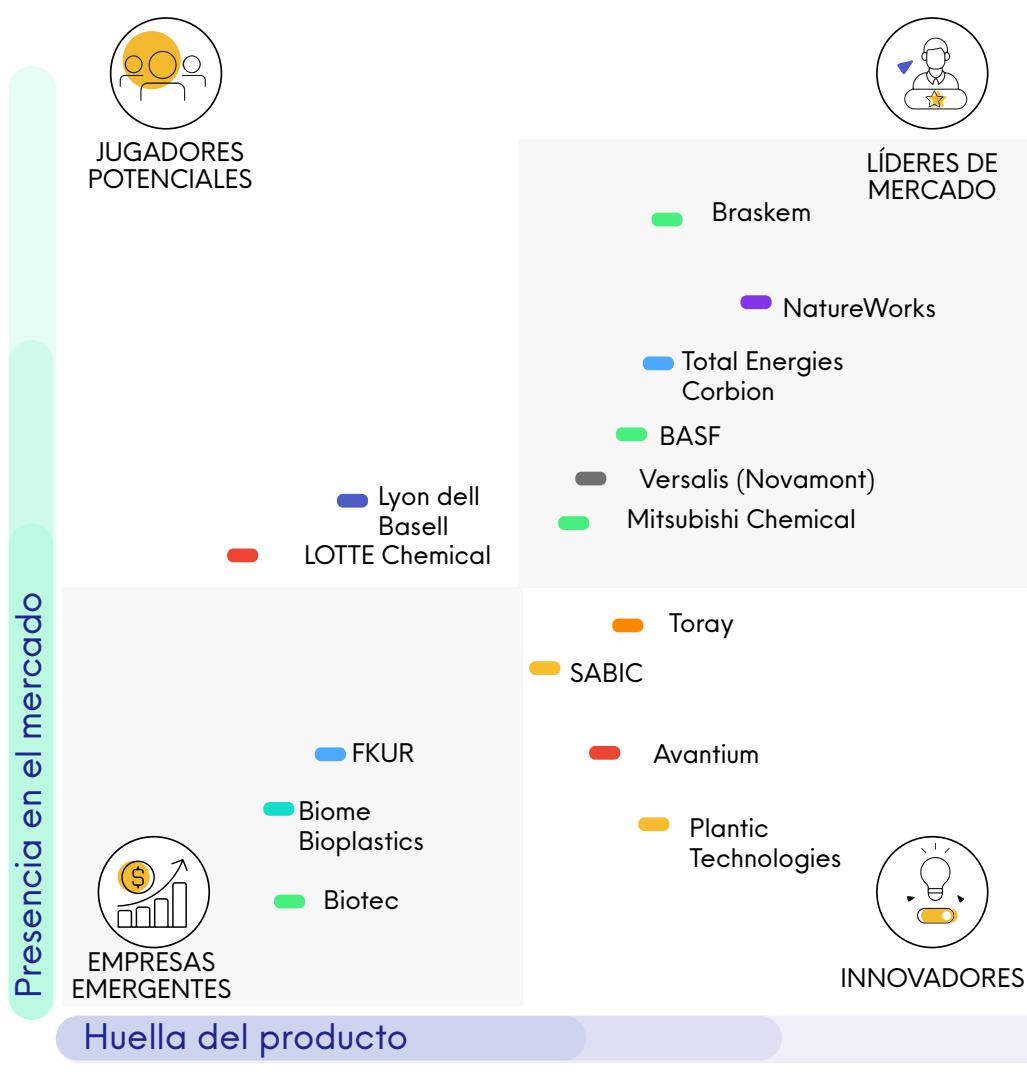
Empresas con portafolios innovadores como Avantium con su desarrollo del PEF, un bioplástico 100% vegetal con propiedades superiores al PET que podría revolucionar el envasado de bebidas. Plantic Technologies se especializa en plásticos de almidón de alta barrera, una innovación importante para la conservación de alimentos

## Empresas Emergentes

Respecto a las empresas emergentes, se encuentran startups y empresas más pequeñas con un alto grado de especialización en nichos de mercado como Biome Bioplastics y FKUR son conocidas por desarrollar resinas compostables a medida para aplicaciones específicas, como películas flexibles y cápsulas de café y la empresa Biotec produce bioplásticos a base de almidón.

## Contendientes

Empresas gigantes químicos como LyondellBasell y LOTTE Chemical, poseen una fuerte presencia de mercado, pero un portafolio de bioplásticos más acotado o aún en fase de expansión, posicionándolos como actores con un alto potencial de crecimiento en el sector (figura 12).



**Figura 14.** Mapa de Actores Clave en el Mercado de Bioplásticos (2024)

Nota: Modificado de Quadrants (2024)

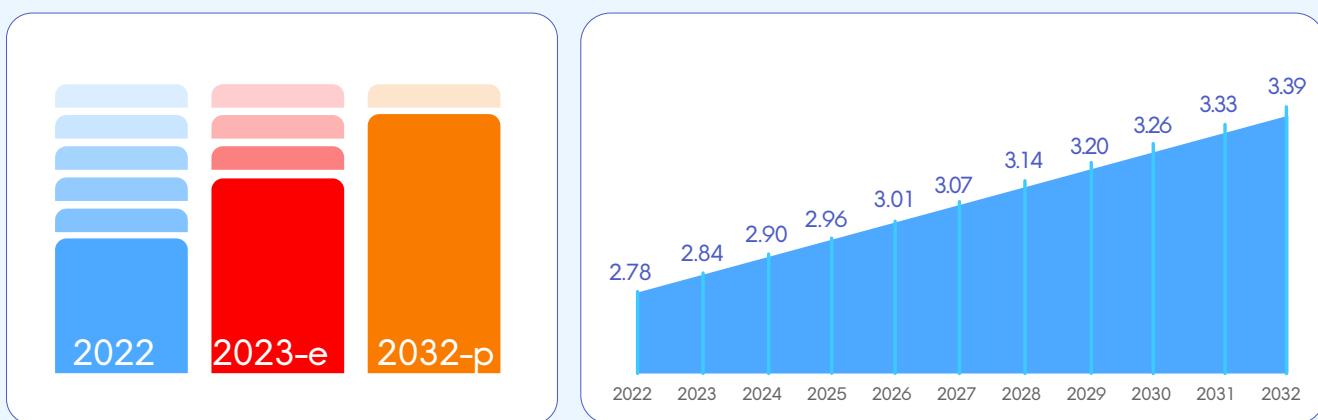
En el contexto colombiano, la iniciativa **Circular Plastic in the Americas Program CPAP** de la Unión Europea, conformó un equipo de trabajo de bioplásticos (*cluster*) entre 2022 y 2024, y entre algunos de sus entregables generó una estimación del crecimiento del mercado de bioplásticos de Colombia como se puede ver en la figura 13.

## Proyección del mercado en Colombia

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	CAGR 2023-2032
Volumen (Toneladas)	1.332,0	1.485,2	1.663,4	1.871,3	2.114,6	2.400,1	2.736,1	3.132,8	3.602,7	4.150,3	4.789,5	13,9%
Ganancia (\$ millones)	3.709,1	4.218,3	4.819,0	5.529,8	6.373,7	7.378,8	8.580,1	10.020,7	11.754,3	13.811,8	16.257,5	16,2%

90%-95% de los bioplásticos en Colombia se importan (CE Caballero Vargas-2019)

### Proyección de tendencia del precio del plástico biodegradable en colombia, 2022-2032 (\$/kg)



Nota: La proyección se construyó con datos de mercado de varias entidades, utilizando al DANE como fuente principal y complementando con cifras de ministerios. e Estimado p Proyectado.

**Figura 15.** Proyección del mercado de bioplásticos en Colombia

Nota: Fuente CPAP (2024)

Comparando las proyecciones de bioplástico a 2030, las 3.603 toneladas/año, con las 170 mil toneladas de plástico de un sólo uso que se estima es el volumen de uso que prohíbe la ley 2232 del 2022, se infiere que los plásticos biobasados compostables a lo sumo podrían cubrir un 2.1% como materiales alternativos. Al compararlo con el consumo aparente de plásticos nacional es de 2.42 millones de toneladas serían iguales al 0.25% que es la mitad del dato de penetración actual global de los bioplásticos en

el mundo (0.5%). Este crecimiento acelerado estimado por CPAP probablemente es atribuible a las necesidades de buscar alternativas a los PUSU prohibidos 2232 del 2022.

Colombia cuenta con un ecosistema de actores clave que impulsan la innovación desde diferentes frentes, las empresas productoras materializan las soluciones, la academia como habilitador para la investigación y el desarrollo, los gremios como articuladores del mercado y el gobierno como

habilitador de la política pública y el fomento de la innovación.

Respecto a la materialización de materiales alternativos biodegradables, en la tabla 1 se nombran algunas empresas consolidadas y emergentes que componen este ecosistema de alternativas al plástico de un sólo uso.

## Tabla 1. Empresas clave en el mercado de alternativas al plástico en Colombia

Nota: Fuente: Autores (2025)

Entidad	Enfoque	Materiales principales biodegradables
<b>Esentia</b>	Productor de plásticos convencionales, resinas y bioplásticos. Tienen capacidad de producción nacional.	Poliolefinas, termoplásticos biodegradables, BPAT+Almidón.
<b>Ecobioplast</b>	Desarrollo y producción de biopolímeros (pellets) y productos hidrosolubles.	Almidón de yuca/maíces diseñados en forma de pellets o como bolsas y películas.
<b>Carvajal Empaques</b>	Producción y distribución de empaques convencionales y alternativas sostenibles para el mercado masivo.	Cartón o pulpas y fibras del bagazo de caña de azúcar.
<b>Darnel</b>	Gran capacidad de producción y amplio portafolio de alternativas, incluyendo reciclados.	Pulpa de papel, bagazo de caña, fibra de bambú, cartón o madera.
<b>Compostpack</b>	Especialista en la fabricación de bolsas y empaques 100% compostables.	Almidón de maíz.
<b>Greenpack S.A.S</b>	Portafolio diversificado de empaques compostables y reciclables, con laminados de papel.	PLA, Almidón de yuca, celofán, caña de azúcar, piña, plátano, coco, eucalipto.
<b>Papelyco (Life Pack)</b>	Modelo de negocio "cero residuos" con empaques germinables.	Fibra de piña, almidón de maíz, semillas germinables.
<b>Interecológicas®</b>	Producción de bolsas y desechables biodegradables.	Almidón de maíz.
<b>Natupla</b>	Portafolio en plásticos y polímeros biodegradables	Base almidón

Respecto a la academia, las instituciones como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los

Andes, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), la Universidad EAFIT, Universidad del Cauca y el SENA, entre otras instituciones, mediante los grupos de investigación lideran proyectos para crear bioplásticos a partir de fuentes como el fique, la semilla de aguacate, los residuos de banano, arracacha, cáscara de maracuyá, PLA con almidones o subproductos industriales como el glicerol, iniciativas que podrían resultar en patentes. En el caso del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Cauchó (ICIPC), es un actor que trabaja como puente entre la investigación y la industria debido a que provee el soporte técnico, los análisis de laboratorio y las certificaciones necesarias para validar y escalar las innovaciones.

Para que la innovación llegue al mercado, el ecosistema también lo conforman los actores articuladores. El Cluster de Bioplásticos en Colombia (CPAP) es un articulador especializado que conecta a empresas, academia y gobierno para fortalecer la cadena de valor. Asimismo, gremios como ACOPLASTICOS y FENALCO son clave para la adopción de estas alternativas en el comercio y en los puntos de venta, mientras que Confecámaras (la Red de Cámaras de Comercio) representa al tejido empresarial de todas las regiones, el cual puede facilitar la implementación de las alternativas a nivel nacional.

El Gobierno Nacional juega un papel clave, ya que el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo establecen el marco de financiación para la investigación, el desarrollo y la política industrial que regula el mercado. Asimismo, iNNpulsa Colombia patrimonio autónomo de MinCIT que promueve la incorporación del crecimiento de las MIPYMES a través de la innovación, y redes como Impact Hub, apoyan los emprendimientos.

El ecosistema de las alternativas al plástico de un sólo uso en Colombia cuenta con la participación de actores en plataformas internacionales como la *European Cluster Collaboration Platform* y proyectos de investigación europeos (H2020), así como la conexión con redes como *European Bioplastics* y la *International Cleantech Network*, para una inserción en las tendencias globales. Esta colaboración internacional genera una transferencia de conocimiento, adopción de tecnologías de vanguardia, la alineación con los estándares y normativas de los mercados más avanzados.

## Alternativas de tratamiento al fin de vida útil de bioplásticos

Si bien los bioplásticos compostables han sido diseñados como alternativa a los plásticos convencionales, es claro que requieren, una vez puestos en el mercado, una serie de cambios en la cadena de valor que van desde la correcta identificación y segregación en la fuente por parte del consumidor, así como toda una serie de cambios en la gestión de residuos, para su correcto transporte separado hacia los sitios de compostaje pertinentes para lograr materializar los beneficios para los cuales fueron diseñados, esto es, generar una economía circular de nutrientes hacia su aprovechamiento del compost producido como mejorador de suelos. Sin embargo, ¿qué hacer si ya se tienen esos residuos de bioplásticos compostables, pero no se cuenta con un sistema de gestión o capacidades suficientes para llevarlos a sistemas de compostaje adecuados?

Se analizan a continuación los principales hallazgos sobre diferentes opciones de tratamiento de bioplásticos compostables diferentes al compostaje (figura 14).

### Alternativas al fin de vida de los bioplásticos biodegradables.



#### Reciclaje orgánico: compostaje y digestión anaerobia (AD)

**Compostaje (industrial):** Es un proceso de degradación aeróbica controlada donde los microorganismos transforman los residuos en CO<sub>2</sub>, agua y biomasa (humus). Para que un material sea certificado como compostable industrialmente (según normas como por ejemplo la EN 13432), debe biodegradarse al menos en un 90% en un máximo de 6 meses y desintegrarse casi por completo en 3 meses

**Compostaje (casero):** Es un proceso de degradación aeróbica controlada donde los microorganismos transforman los residuos en CO<sub>2</sub>, agua y biomasa. No todos los Bioplásticos Compostables son manejables mediante compostaje casero, y cuando los elementos a compostar tienen espesores relevantes (a diferencia de bolsas, por ejemplo), es necesario un pretratamiento de fino picado o molienda para garantizar una adecuada biodegradación. Dado que el control operacional del proceso es menos riguroso pues es realizado directamente por el consumidor, se pueden presentar menores eficiencias de proceso, resultando en mayores tiempos necesarios de biodegradación, calidades de compost variables, y en ocasiones olores y vectores

**Digestión Anaeróbica (DA):** En este proceso, los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Se produce biogás que contiene metano que puede usarse como fuente no convencional de energía renovable (FNCER), aunque se ha cuestionado la calidad nutricional del digestato para su aprovechamiento como fertilizante. La co-digestión de bioplásticos biodegradables con residuos de alimentos puede mejorar la eficiencia en la producción de biogás



#### Reciclaje Mecánico (depende del bioplástico biodegradable)

Se ha estudiado para polímeros como PLA y PCL. Por ejemplo, el PLA reciclado puede usarse para fabricar filamentos para impresoras 3D. Sin embargo, el material tiende a perder propiedades mecánicas y su calidad se degrada con cada ciclo de reprocesamiento. Se sugiere hacerlo por separado, para cada tipo diferente de biopolímero compostable, lo cual se convierte en un problema práctico, pues requiere selección automática por tecnologías ópticas NIR (Near Infra-Red), y al tener demasiados materiales diferentes, se vuelve poco atractiva en términos de costo-eficiencia. En el caso de procesarlos mezclados con los plásticos

convencionales se han evidenciado que contaminan el material reciclado, afectando por ejemplo la resistencia al impacto en el PET contaminado con PLA, o las características de elongación, resistencia a la tensión y apariencia en PE o PP con inclusión de bioplásticos a base de almidones. Se recomienda una mezcla de máximo el 1 al 2% de bioplásticos compostables. El marco regulatorio de gestión de residuos europeo exige comprobar el no deterioro de la calidad para su implementación



## Reciclaje Químico

Incluyen la despolimerización (solvólisis, hidrólisis), pirólisis y la gasificación como alternativas posibles con los bioplásticos compostables, sin embargo, no se pueden tratar mezclados ni entre ellos ni con plásticos convencionales de origen fósil

Se pueden recuperar materias primas de alta calidad. Por ejemplo, la degradación térmica de los PHAs puede producir monómeros vinílicos, y la hidrólisis del PLA permite obtener ácido láctico de alta pureza que puede repolimerizarse para crear nuevo PLA (Circularidad)

No obstante, estos procesos se caracterizan por un mayor consumo de energía y/o sustancias químicas en comparación con el reciclaje mecánico

una solución para un nicho de aplicaciones específicas para manejo de bolsas de Residuos No Aprovechables, que se dispongan mediante Relleno Sanitario como las bolsas negras para No Aprovechables, o las bolsas para excrementos de mascotas, entre otros. Al ser materia orgánica, al descomponerse anaeróbicamente en el Relleno Sanitario, generan lixiviados y biogás, con los requerimientos de manejo para evitar los impactos de una gestión inadecuada. En especial se ha evaluado en algunos Análisis de Ciclo de Vida que resultan más problemáticos en términos de cambio climático que los plásticos convencionales por esta liberación de gases efecto invernadero ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ )

En resumen, no hay un consenso sobre alternativas diferentes a los procesos de compostaje. Hacen falta suficientes estudios a escala industrial para reciclaje mecánico y compostaje de Bioplásticos Compostables aún.

Lo ideal es la gestión de residuos de bioplásticos compostables con recolección selectiva hacia plantas de compostaje industrial y garantizar un mercado del compost producido para realmente cerrar el ciclo de circularidad diseñado.

Otras opciones con varias restricciones y problemas de costo-eficiencia en caso de no poder optar por el manejo ideal anterior sería o el reciclaje mecánico separado por diferentes tipos de biopolímeros compostables, o la valorización energética si está disponible. Para algunas aplicaciones específicas se podrían enviar a Relleno sanitario como se describió anteriormente.



## Recuperación de Energía/Valorización Energética

**Incineración:** Es una técnica ampliamente utilizada que reduce el volumen de los residuos sólidos y recupera su valor calorífico para generar calor o electricidad. Los bioplásticos a base de almidón, por ejemplo, tienen un valor calorífico comparable al de la madera, lo que es una técnica viable, aunque se considera una alternativa no circular

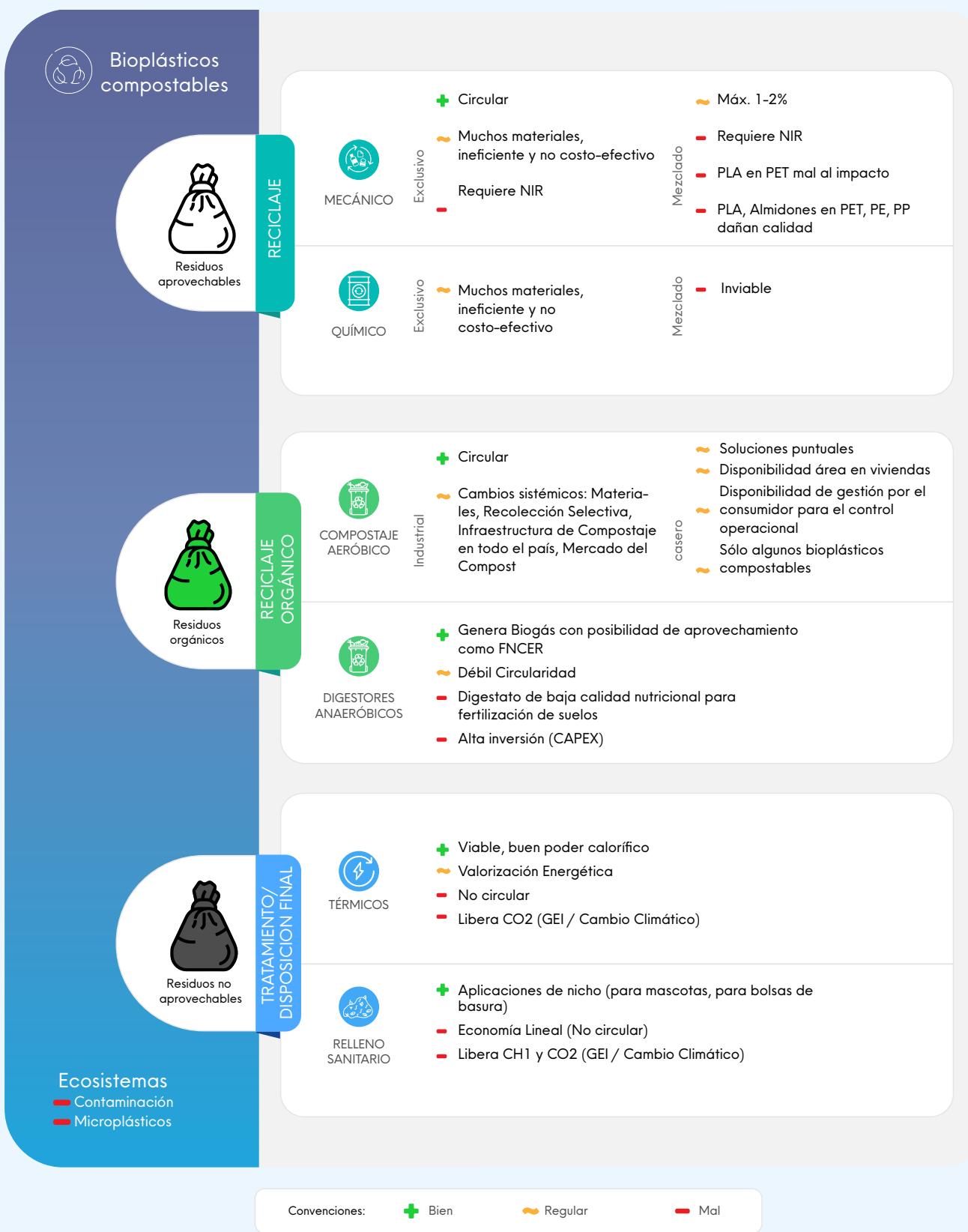
**Gasificación como fuente de energía:** Aunque se clasifica como reciclaje químico, el gas sintético (Syngas) producido en la gasificación es una materia prima energética versátil que puede usarse para generar combustibles líquidos.



## Tratamiento por Gestión de Disposición Final Convencional

**Rellenos Sanitarios:** No es lo ideal, pues no permite aprovechar la circularidad diseñada para el fin de vida útil que mediante compostaje y que se puedan aprovechar los nutrientes que contendría el compost para aplicaciones al suelo. Sin embargo, puede ser

■ ■ La reducción del consumo y el reciclaje avanzado es la mejor estrategia para reducir el impacto de los plásticos convencionales. Estrategias como el reemplazo por bioplásticos compostables es una excelente estrategia para nichos específicos, pero no es la solución definitiva ■ ■



**Figura 16.** Rutas de gestión y tratamiento de Bioplásticos Compostables

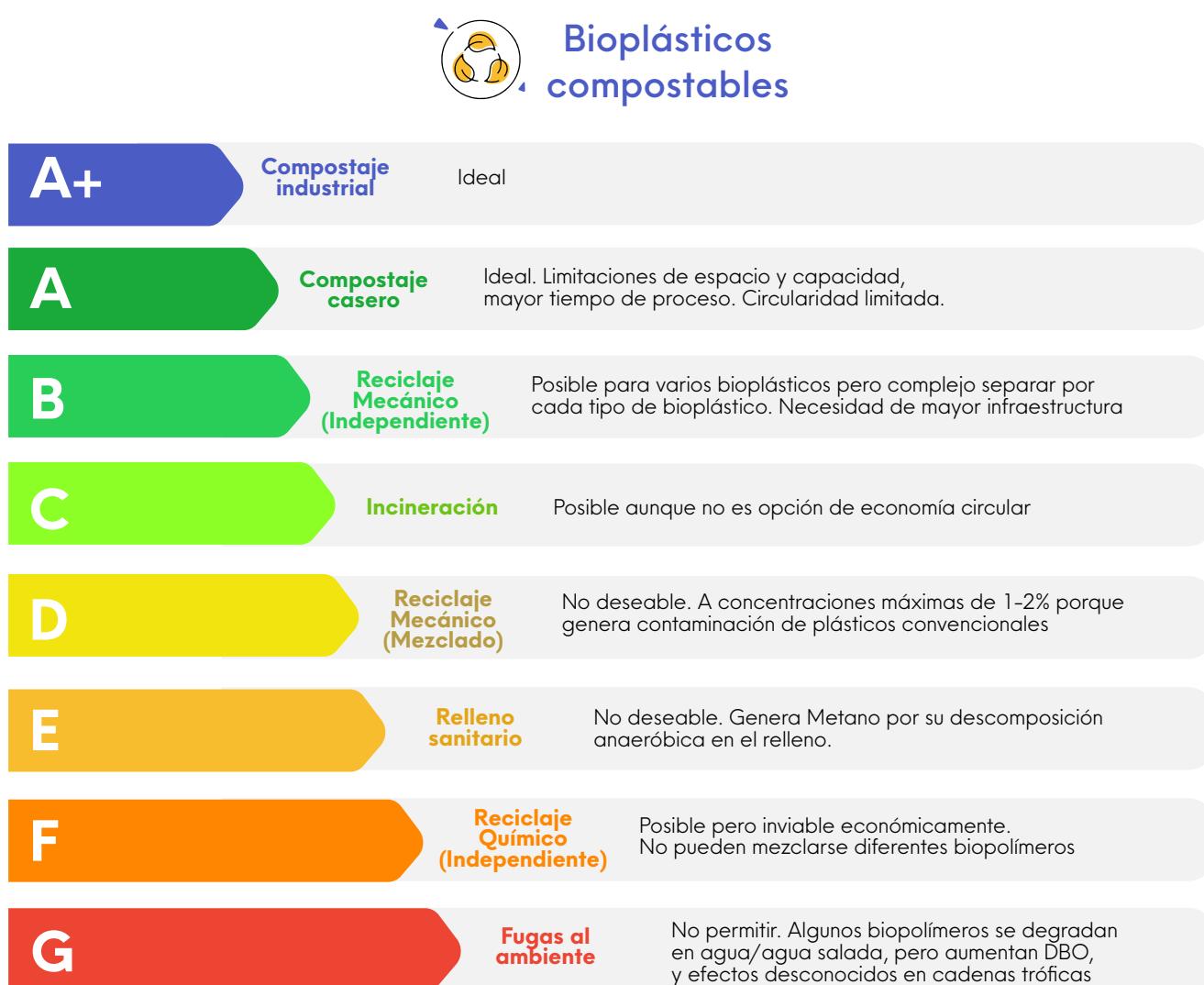
Nota: Fuente: Autores (2025)

En consecuencia, los bioplásticos compostables idealmente deberían ir a la ruta de gestión de residuos orgánicas (**Bolsa Verde en Colombia**), pero si no se cuenta con toda la infraestructura separada, podrían ir hacia la ruta de residuos aprovechables (**Bolsa Blanca**) para idealmente generar una separación automatizada posterior con tecnología NIR y procesar individualmente mediante reciclaje mecánico cada biopolímero compostable. Si esto no se implemente, es importante realizar

pruebas y definir los porcentajes máximos de contaminación de los flujos de reciclaje mecánico de plásticos convencionales para no comprometer la calidad del material reciclado final. Por último, para algunas aplicaciones específicas de bolsas de basura o bolsas para excrementos de mascotas o similares, podría ir a la ruta selectiva de residuos No Aprovechables (**Bolsa Negra**). Dada esta complejidad de la gestión, se vuelve absolutamente imperioso garantizar para cada elemento en particular el llamado

a la acción en el etiquetado del producto plástico elaborado con bioplásticos compostables (Deposite en la bolsa/caneca "Verde", "Blanca" o "Negra").

Teniendo en cuenta todas las particularidades asociadas a las diferentes alternativas de gestión y tratamiento al final de vida útil de los bioplásticos compostables, se pueden priorizar los manejos de dichos residuos así:



**Figura 17.** Prioridad de las rutas de gestión y tratamiento de Bioplásticos Compostables

Nota: Fuente: Autores (2025)

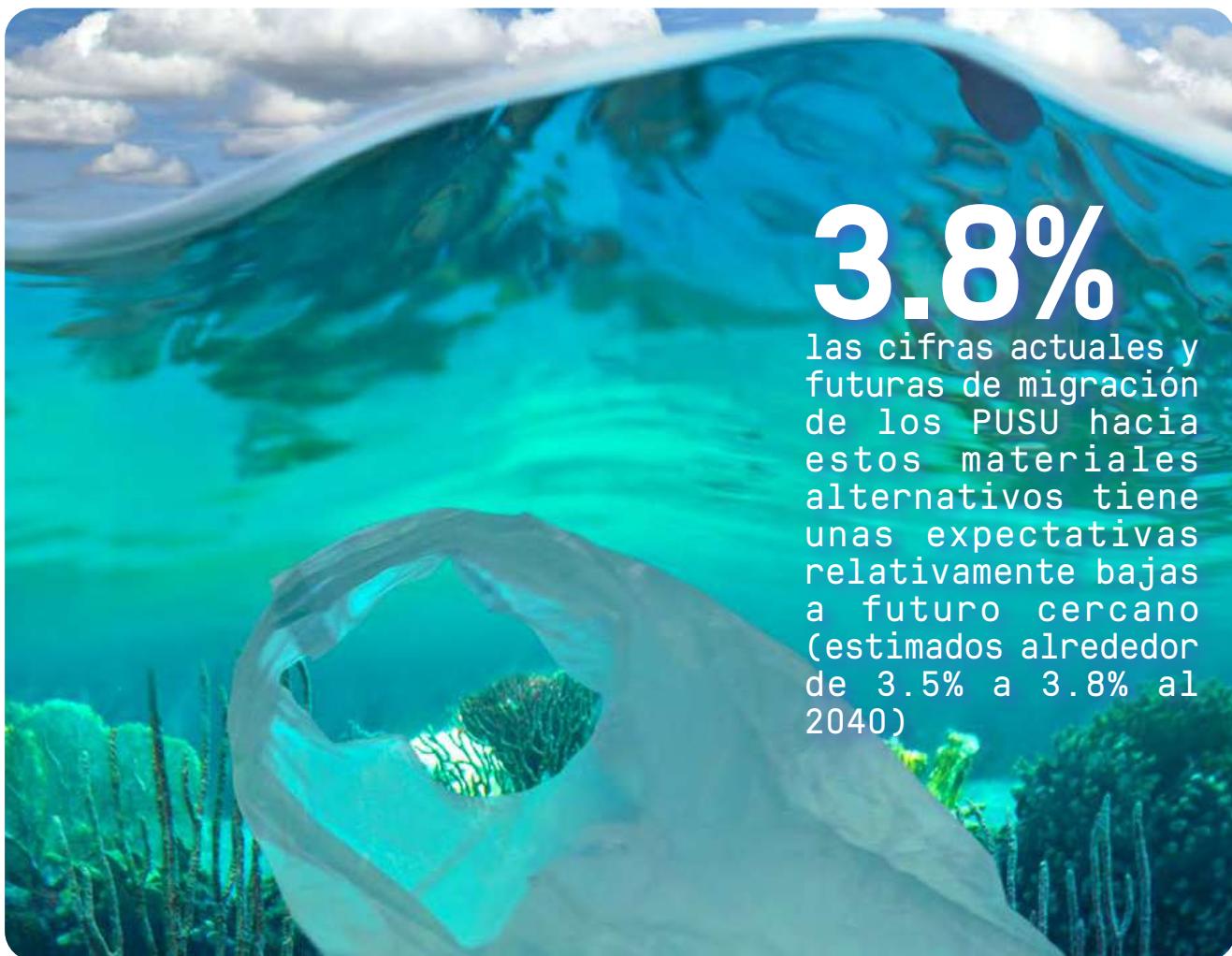
# Conclusiones y Recomendaciones

Si bien en los últimos años se han acelerado las investigaciones científicas en términos del desarrollo de materiales bioplásticos que puedan servir de alternativas a los plásticos de un sólo uso a escala industrial, se vislumbra una serie de condiciones tecnológicas y de mercado que pueden evidenciar que los bioplásticos biodegradables/compostables tienen unos nichos muy específicos de penetración como materiales alternativos. La indiscutible flexibilidad tecnológica e innovaciones de los plásticos convencionales hacen difícil encontrar materiales compostables para todas las aplicaciones de la vida diaria.

Existen algunos materiales y aplicaciones donde han ganado mucho terreno los bioplásticos compostables, sin embargo, las proyecciones de migración de PUSU hacia estos materiales alternativos son relativamente bajas en el corto plazo de migración de los PUSU hacia estos materiales alternativos tiene unas expectativas relativamente bajas a futuro cercano (estimados alrededor de 3.5% a 3.8% al 2040). A manera ilustrativa, algunas otras medidas para frenar la contaminación por plásticos, que pueden resultar más interesantes y de mayor impacto en las toneladas de dichos elementos a futuro, lo son la eliminación de productos PUSU innecesarios o problemáticos, o los modelos de

reuso, y en mucha más proporción el rediseño para reincorporar material plástico convencional reciclado posconsumo (PCR) unido a una mejora en la eficiencia del reciclaje mecánico de plásticos convencionales, con expectativas como soluciones sostenibles mucho mayores que los mismos materiales alternativos como los bioplásticos compostables o incluso las fibras naturales vegetales para el reemplazo de productos PUSU.

Teniendo esto en cuenta, gráficamente se proponen en la figura 16 las rutas preferentes de alternativas sostenibles a los productos PUSU:



**3.8%**

las cifras actuales y futuras de migración de los PUSU hacia estos materiales alternativos tiene unas expectativas relativamente bajas a futuro cercano (estimados alrededor de 3.5% a 3.8% al 2040)

Sub-categoría	Producto	Eliminación	100 % PCR Reciclado	Modelo de reuso	Bioplásticos Compostables	Fibras naturales vegetales
Bolsas y empaques	Bolsas punto de pago		✓	✓✓✓	✓✓	
	Bolsas para periódicos/revistas	✓				
	Rollos de bolsas para a granel		✓			
	Envases para líquidos no preenvasados		✓		✓✓✓	
Utensilios de mesa	Platos y bandejas desechables	✓✓✓			✓✓	✓✓
	Cubiertos desechables	✓✓✓			✓✓	✓✓
	Vasos desechables				✓✓✓	✓✓
	Pitillos para bebidas	✓✓✓		✓✓		
	Mezcladores para bebidas	✓✓✓				✓✓
Otros productos	Soportes para bombas de inflar	✓✓✓				✓✓
	Confeti	✓✓✓				✓✓
	Manteles desechables		✓✓✓			
	Serpentinas	✓✓✓				✓✓
Para Alimentos	Envases para comida no preenvasada				✓✓✓	✓✓
	Láminas para envolver alimentos				✓✓✓	
	Empaques para frutas y verduras		✓		✓✓✓	✓✓
Higiene	Sopores de hisopos					✓✓✓
	Mangos de hilo dental	✓✓✓				
	Adhesivos para vegetales	✓✓✓				

Figura 18. Comparación cualitativa de alternativas a productos PUSU

Nota: Fuente: Autores (2025). Símbología: Se utiliza una escala cualitativa de 1 a 3 símbolos (✓) para calificar la idoneidad de cada solución, siendo (✓✓✓) la más favorable.

La investigación y desarrollo en la actualidad busca de cierta forma equiparar el desempeño de los bioplásticos biodegradables/compostables con los plásticos convencionales explorando incorporar características de impermeabilidad al agua y gases, resistencia mecánica y apariencia, mediante el uso de otros materiales también de características biobasados y biodegradables, para no deteriorar esa característica diferencial esencial para el manejo de su fin de vida útil, en especial para los empaques y envases de alimentos.



**La introducción de Bioplásticos Compostables al mercado debe garantizar los ajustes a todo el ciclo de vida del material, en especial a la gestión de residuos y su tratamiento para garantizar su circularidad**

Para realmente garantizar los beneficios ambientales de las bioplásticos biodegradables/compostables, es fundamental garantizar la educación del consumidor en su correcta disposición posconsumo, y garantizar la suficiente y tecnificada infraestructura de recolección selectiva y plantas de tratamiento por compostaje industrial y su respectivo mercado de compost producido. Para ello es importante:

- 1.** Generar etiquetas claras y un mercado de confianza, que expliquen qué es cada material, cómo desecharlo correctamente y cuál es su impacto real. Esto es fundamental para combatir la confusión y el escepticismo (Allison et al., 2021)
- 2.** Garantizar una inversión significativa en infraestructura, cambios en la cadena de suministro y nuevas habilidades para el personal y los clientes (Diprose et al., 2023). Una inversión pública y privada en sistemas de recolección y generación de compostaje industrial
- 3.** Facilitar una colaboración coordinada entre productores, minoristas, consumidores, gestores de residuos y gobierno para rediseñar el sistema de empaques (Diprose et al., 2023)
- 4.** Definir una legislación y reglamentación clara y exigente, donde la Responsabilidad Extendida del Productor, es un motor clave para que la industria privada invierta y adopte nuevas tecnologías, ya que alinea los incentivos económicos con los objetivos de sostenibilidad
- 5.** Promover más investigación para comprender cómo se comportan los consumidores en diferentes contextos, y cómo el diseño del empaque puede promover comportamientos sostenibles y además, cómo los factores a nivel de la industria influyen en la transición (Allison et al., 2021)
- 6.** Un punto muy importante es que la decisión sobre cómo descartar el empaque plástico determina su huella ambiental, si los bioplásticos compostables terminan en los procesos de reciclaje mecánico de plásticos convencionales o incluso en rellenos sanitarios sin recuperación energética de biogás, los bioplásticos generan mayores impactos que los plásticos convencionales en los análisis de ciclo de vida de la cuna a la tumba. Esto es muy riesgoso, pues en términos de comportamiento del consumidor se presenta una gran confusión terminológica entre biodegradable, compostable, recicitable y biobasado. En general los consumidores creen erróneamente que los bioplásticos pueden ser desechados en cualquier entorno y se degradarán sin impacto o que son reciclables en los sistemas convencionales.

# 2.1%

Proyección de 3,603 ton/año para 2030 cubriría máximo 2.1% de 170,000 toneladas prohibidas por Ley 2232 de 2022 en Colombia.

Algunos estudios demuestran que el reciclaje mecánico de alta eficiencia para plásticos convencionales es el escenario más beneficioso ambientalmente, incluso sobre los bioplásticos biodegradables.

Los desarrollos de punta que pueden facilitar la penetración masiva de bioplásticos biodegradables como materiales alternativos a muchas aplicaciones de PUSU, son los enfocados en lípidos de origen vegetal para desarrollar recubrimientos de base biológica para papel, para reemplazar los revestimientos plásticos y los recubrimientos híbridos en elementos de E&E o productos desechables para alimentación y bebidas.

En cuanto a las Patentes, hay una clara preferencia por los polisacáridos siendo el almidón y el ácido poliláctico (PLA) los materiales más patentados.

China lidera la I+D y patentes, focalizados en las propiedades de barrera de los bioplásticos, la reducción de costos de producción y el desarrollo de "envases inteligentes" (ej. Barreras antibióticas).

Las tendencias de los países y regiones líderes en Bioplásticos Biodegradables tanto en producción como en gestión de residuos demuestran que es aún incipiente su participación de mercado con un 0.5% de la producción mundial de plásticos actualmente, en esencia

concentrados en E&E y Textiles. Para el caso de E&E (con relevancia como PUSU), las aplicaciones más comunes son en la inmensa mayoría de E&E rígidos y más de la mitad de los E&E flexibles, coherente con que el PLA es el bioplástico biodegradable con mayor capacidad de producción actualmente.

Aunque se plantean expectativas de crecimiento interanual alrededor de 13.9% y hasta 20.8%, se estima que los plásticos biobasados compostables a lo sumo podrían llegar a cubrir un 2.1% como materiales alternativos sostenibles en Colombia para el reemplazo de los productos PUSU que prohíbe la Ley 2232 de 2022, representando entre un 3.5% a 3.8% del mercado total de plásticos del mundo al 2040.

La introducción de Bioplásticos Compostables al mercado no se debería limitar a garantizar un desempeño adecuado al producto que los incorpora, pues siempre debería revisarse holísticamente todo el ciclo de vida del material, y garantizar que se ajusta toda la cadena de valor para contar con suficiente cambio de comportamiento del consumidor, evitar el mercadeo

verde engañoso (Greenwashing), y la existencia de una gestión de residuos adecuada, incluyendo rutas selectivas y la infraestructura de compostaje industrial disponible y suficiente para garantizar sus beneficios ambientales.

Sería pertinente promover pocos tipos de bioplásticos compostables, pues tener demasiados tipos de materiales, incrementa las restricciones de gestión de residuos al igual que lo que pasa con los plásticos convencionales, solo que en los bioplásticos se puede contar con muchas más categorías, lo que encarece los costos de gestión de residuos por los bajísimos volúmenes a manejar por cada material.

Si bien los consumidores a menudo perciben los materiales compostables como sostenibles, están confundidos sobre qué hacer con estos plásticos y cómo disponerlos, lo que se une a variadas evidencias de sellos o etiquetado sin suficientes certificados trazables, por lo que es indispensable una clara regulación de etiquetado para compostables.



# Referencias

---

1. Abenghal, L., Bley, J., Tolnai, B., Njamen, G., & Chabot, B. (2025). Development of a new sustainable packaging paper based on cellulose filaments and refined kraft pulp. *Future Foods*, 11, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100540>
2. Acoplásticos. (2024). Plásticos en Colombia 2024. <https://acoplasticos.org/2024/09/12/plasticos-en-colombia-2024/>
3. Allison, A. L., Lorencatto, F., Michie, S., & Miodownik, M. (2021). Barriers and enablers to buying biodegradable and compostable plastic packaging. *Sustainability*, 13(3), 1463. <https://doi.org/10.3390/su13031463>
4. Atabay, D., Rosentrater, K. A., & Ghnimi, S. (2022). The sustainability debate on plastics: Cradle to grave Life Cycle Assessment and Techno-Economical Analysis of PP and PLA polymers with a "Polluter Pays Principle" perspective. *Frontiers in Sustainability*, 3, 931417. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.931417>
5. Bala, A., Arfeli, S., Oliver-Ortega, H., & Méndez, J. A. (2022). Life cycle assessment of PE and PP multi film compared with PLA and PLA reinforced with nanoclays film. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134891. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134891>
6. Barone, A. S., Maragoni-Santos, C., de Farias, P. M., Cortat, C. M. G., Maniglia, B. C., Ongarotto, R. S., Ferreira, S., & Fai, A. E. C. (2025). Rethinking single-use plastics: Innovations, policies, consumer awareness and market shaping biodegradable solutions in the packaging industry. *Trends in Food Science & Technology*, 158, 104906. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104906>
7. Bertotto, C., Bilck, A. P., Yamashita, F., Anjos, O., Siddique, M. A. B., Harrison, S. M., Brunton, N. P., & Carpes, S. T. (2022). Development of a biodegradable plastic film extruded with the addition of a Brazilian propolis by-product. *LWT - Food Science and Technology*, 157, 113124. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113124>
8. Bhattarai, S., & Janaswamy, S. (2023). Biodegradable, UV-blocking, and antioxidant films from lignocellulosic fibers of spent coffee grounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126798. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126798>
9. CPAP - Circular Plastic in the Americas Program(2024). Proyección del mercado en Colombia
10. Deng, Y., Wu, S., Zhu, T., Gou, Y., Cheng, Y., Li, X., Huang, J., & Lai, Y. (2024). Ecological packaging: Creating sustainable solutions with all-natural biodegradable cellulose materials. *Giant*, 18, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2024.100269>
11. Desole, M. P., Gisario, A., Fedele, L., & Barletta, M. (2024). Life Cycle Assessment (LCA) and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) of eco-friendly packaging for dairy products and fourth range. *Procedia CIRP*, 122, 927–932. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.02.032>
12. Diprose, G., Lee, L., Blumhardt, H., Walton, S., & Greenaway, A. (2023). Reducing single use packaging and moving up the waste hierarchy. *Kōtuitui: New Zealand Journal of Social Sciences Online*, 18(3), 268–289. <https://doi.org/10.1080/1177083X.2022.2154230>
13. Dokl, M., Copot, A., Krajnc, D., Fan, Y. V., Vujanović, A., Aviso, K. B., Tan, R. R., Kravanja, Z., & Čuček, L. (2024). Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. *Sustainable Production and Consumption*, 51, 498–518. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.025>
14. Dolci, G., Puricelli, S., Cecere, G., Tua, C., Fava, F., Rigamonti, L., & Grossi, M. (2025). How does plastic compare with alternative materials in the packaging sector? A systematic review of LCA studies. *Waste Management & Research*, 43(3), 339–357. <https://doi.org/10.1177/0734242X241241606>
15. Dooley, K., Thakker, V., Bakshi, B., Scholz, M., Hafsa, F., Basel, G., & Buch, R. (2022). A Multi-disciplinary Assessment of Innovations to Improve Grocery Bag Circularity. En Computer Aided Chemical Engineering (Vol. 51, pp. 619-624). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85159-6.50104-4>
16. European Bioplastics. (2023). Bioplastics market development update 2023. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2023-2/>
17. Gutiérrez, M. C., León-Martínez, F. M., Renneckar, S., & Oliver-Cadena, M. (2024). Dual system to develop fish gelatin films with improved water resistance properties: Enzymatic cross-linking and multilayer lamination. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(11), 7052–7066. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02716-2>
18. Haddaway, N. R., Macura, B., Whaley, P., & Pullin, A. S. (2018). ROSES RepOrting standards for Systematic Evidence Syntheses: pro forma, flow-diagram and descriptive summary of the plan and conduct of environmental systematic reviews and systematic maps. *Environmental Evidence*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0121-7>
19. Huang, Y., Han, M., Bi, Z., Gu, N., Gu, D., Hu, T., ... & Lu, J. (2025). Differentiating low-carbon waste management strategies for bio-based and biodegradable plastics under various energy decarbonization scenarios. *Waste Management*, 193, 328-338.
20. Islam, M., Xayachak, T., Haque, N., Lau, D., Bhuiyan, M., & Pramanik, B. K. (2024). Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life. *Process Safety and Environmental Protection*, 188, 151-166.
21. Jakrawatana, N., Ngammuangtueng, P., Vorayos, N., & Gheewala, S. H. (2023). Replacing single-use plastics with biomaterial packaging in Thailand and impacts on the water-energy-climate Nexus. *Sustainable Production and Consumption*, 39, 506–520. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.036>
22. Karayilan, S., Yılmaz, Ö., Uysal, Ç., & Naneci, S. (2021). Prospective evaluation of circular economy practices within plastic packaging value chain through optimization of life cycle impacts and circularity.

- Resources, Conservation & Recycling, 173, 105691. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105691>
23. Keller, J., Scagnetti, C., & Albrecht, S. (2022). The Relevance of Recyclability for the Life Cycle Assessment of Packaging Based on Design for Life Cycle. *Sustainability*, 14(7), 4076. <https://doi.org/10.3390/su14074076>
  24. Koch, D., & Mihalyi, B. (2018). Assessing the change in environmental impact categories when replacing conventional plastic with bioplastic in chosen application fields. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 853–858. <https://doi.org/10.3303/CET1870143>
  25. Kreiter, B. G. (1976). Energy recovery from municipal and industrial waste. *Conservation & Recycling*, 1(1), 71-81.
  26. La Fuente, C. I. A., Tribst, A. A. L., & Augusto, P. E. D. (2022). Knowledge and perception of different plastic bags and packages: A case study in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 301, 113881. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113881>
  27. Luo, C., Zhou, Y., Chen, Z., Bian, X., Chen, N., Li, J., Wu, Y., & Yang, Z. (2024). Comparative life cycle assessment of PBAT from fossil-based and second-generation bio-based feedstocks. *Science of the Total Environment*, 954, 176421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176421>.
  28. Martin, N., Smith, L., & Mulligan, S. (2021). Sustainable oral healthcare and the environment: Mitigation strategies. *Dental Update*, 48(7-8), 524-531.
  29. Mhaddolkar, N., Astrup, T. F., Tischberger-Aldrian, A., Pomberger, R., & Vollprecht, D. (2024). Challenges and opportunities in managing biodegradable plastic waste: A review. *Waste Management & Research*. Publicación anticipada en línea. <https://doi.org/10.1177/0734242X241279902>
  30. Michaliszyn-Gabryś, B., Krupanek, J., Kalisz, M., & Smith, J. (2022). Challenges for Sustainability in Packaging of Fresh Vegetables in Organic Farming. *Sustainability*, 14(9), 5346. <https://doi.org/10.3390/su14095346>
  31. Mroczkowska, M., Culliton, D., Germaine, K., & Neves, A. (2021). Comparison of Mechanical and Physicochemical Characteristics of Potato Starch and Gelatine Blend Bioplastics Made with Gelatines from Different Sources. *Clean Technologies*, 3(2), 424–436. <https://doi.org/10.3390/cleantech3020024>
  32. Muralidharan, V., Jebathomas, C. R. T., Sundaramoorthy, S., Madhan, B., & Palanivel, S. (2024). Preparation and evaluation of novel biodegradable Kombucha cellulose-based multi-layered composite tableware. *Industrial Crops & Products*, 215, 118629. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118629>
  33. Nasr, M. (2024). Plastic waste management techniques and WtE consideration in developing countries. In *Advances in Energy from Waste* (pp. 551-574). Woodhead Publishing.
  34. Nuojua, S., Pahl, S., & Thompson, R. C. (2024). Plastic alternatives and substitutes in the packaging sector – A UK consumer perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 68–81. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.001>
  35. Parvathy, P. A., & Sahoo, S. K. (2021). Hydrophobic, moisture resistant and biorenewable paper coating derived from castor oil based epoxy methyl ricinoleate with repulpable potential. *Progress in Organic Coatings*, 158, 106347. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106347>
  36. Pinto Torres, C. A., Cardona Gómez, J., & Polanco Puerta, M. F. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Revista Universidad & Empresa*, 25(44), 1–40. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12506>
  37. Plastics Europe. (2023). Plastics—the fast facts 2023. Plastics Europe Knowledge Hub. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>
  38. Quadrants 360. (2024). Top 15 bioplastic companies worldwide 2024. OpenPR. <https://www.openpr.com/news/3374852/top-15-bioplastic-companies-worldwide-2024>
  39. Razza, F., Degli Innocenti, F., Dobon, A., Aliaga, C., Sanchez, C., & Hortal, M. (2015). Environmental profile of a bio-based and biodegradable foamed packaging prototype in comparison with the current benchmark. *Journal of Cleaner Production*, 102, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.033>
  40. Root, K. P., Pal, A. K., Pesaranhaijabbas, E., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2023). Injection moulded composites from high biomass filled biodegradable plastic: Properties and performance evaluation for single-use applications. *Composites Part C: Open Access*, 11, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2023.100358>
  41. Rossi, G., Conti, L., Fiorineschi, L., Marvasi, M., Monti, M., Rotini, F., & Barbari, M. (2020). A new eco-friendly packaging material made of straw and bioplastic. *Journal of Agricultural Engineering*, 51(4), 185-191. <https://doi.org/10.4081/jae.2020.1044>
  42. Sinha, S. (2024). An overview of biopolymer-derived packaging material. *Polymers from Renewable Resources*. Publicación anticipada en línea. <https://doi.org/10.1177/2041247924122684>
  43. Sikorska, W., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., & Rydz, J. (2021). End-of-life Options for (Bio) degradable Polymers in the Circular Economy. *Advances in Polymer Technology*, 2021(1), 6695140.
  44. Stefanini, R., Paini, A., & Vignali, G. (2024). Plastic versus bioplastic as packaging for sanitary products: The environmental impacts comparison. *Packaging Technology and Science*, 37(11), 697–717. <https://doi.org/10.1002/pts.2814>
  45. Wang, Y., Hausner, G., Rout, P. R., & Yuan, Q. (2025). Investigation of fungal mycelium-bound bio-foams from agricultural wastes as sustainable and eco-conscious packaging innovations. *Journal of Cleaner Production*, 501, 145206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145206>

# Anexo 1

## Metodologías del análisis del ciclo de vida

La evaluación de los impactos ambientales de los plásticos y sus alternativas mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) presenta resultados que dependen en gran medida del alcance, la metodología y los supuestos adoptados por los investigadores. La tabla 1 resume el alcance del análisis, la metodología de evaluación de impacto, el número y tipo de categorías consideradas, y las herramientas de software utilizadas en cada estudio.

**Tabla 1. Resumen de metodologías en el ACV.**

Artículo (Año)	Alcance del Análisis	Metodología de Impacto	Nº categorías	Categorías de Impacto	Software / Base de Datos
Razza et al. (2015)	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	Mixta (IMPACT 2002+, Int.EPD®, CML 2001)	7	Consumo Recursos Energéticos No Renovables, Calentamiento Global, Eutrofización, Acidificación, Agotamiento Ozono, Ozoneo Fotoquímico, Agotamiento Recursos Abióticos.	SimaPro 7.3.2 / Ecoinvent 2.2
Koch & Mihalyi (2018)	Cuna a la puerta (Cradle-to-gate) y Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	CML 2001 – Ene. 2016	3	Potencial de Calentamiento Global (GWP), Potencial de Acidificación (AP), Potencial de Eutrofización (EP).	GaBi Envision / GaBi Professional 2017
Martin et al. (2021)	Conceptual (aboga por Cuna a la tumba)	Discusión conceptual	-	GWP, toxicidad humana, eco-toxicidad, eutrofización, agotamiento de ozono, huella hídrica, biodiversidad.	Revisión conceptual
Atabay et al. (2022)	Cuna a la puer- ta + escenarios de Fin de Vida	Modelo propio (EIO-LCA + PPLCA)	11	GWP, Liberaciones Tóxicas (aire, agua, tierra), Acidificación, Eutrofización (aire, agua), Smog, Carcinógenos, No Carcinógenos.	Modelo propio / EIO-LCA Purchaser 2002
Bala et al. (2022)	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	Product Environmental Footprint (PEF)	4	Cambio Climático, Uso de Recursos Fósiles, Uso de la Tierra, Uso del Agua.	GaBi Professional
Dooley et al. (2022)	Optimización de ciclo de vida	Modelo propio	1+ (cuantitativo)	GWP, complementado con análisis cualitativo económico y de cadena de suministro.	Modelo de optimización propio
Keller et al. (2022)	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	Environmental Footprint (EF 3.0)	1	Cambio Climático (kg CO <sub>2</sub> eq).	GaBi 9.2 / Cyclus HTP
Michaliszyn-Gabrys (2022)	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	ReCiPe 2016 Midpoint (H), GHG Protocol, Cumulative Energy Demand	17+2	17 categorías de ReCiPe (ej. toxicidad, uso de suelo, etc.) + GWP y Demanda de Energía Acumulada.	SimaPro 8.5.2 / Ecoinvent 3.4

<b>Jakrawatana et al. (2023)</b>	Ciclo de vida (Producción, Conversión, EoL)	Huella de Carbono (IPCC AR5), Huella Hídrica (ISO 14046), Huella Energética	3	Emisiones de GEI, Escasez de Agua, Consumo de Energía.	Modelo propio
<b>Desole et al. (2024)</b>	Cuna a la cuna (Cradle-to-Cradle)	Impact 2002+	4	Salud Humana (HH), Calidad del Ecosistema (EQ), Cambio Climático (CC), Recursos (R).	SimaPro 9.0.0.48 / Ecoinvent 3
<b>Luo et al. (2024)</b>	Cuna a la puerta (Cradle-to-gate)	ReCiPe 2016 Midpoint (H)	18	Todas las 18 categorías de ReCiPe Midpoint (H) (GWP, ODP, IRP, HOFP, PMFP, etc.).	SimaPro 9.4
<b>Mhaddolkar et al. (2024)</b>	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	Environmental Footprint (EF 3.0)	16	Todas las 16 categorías de EF 3.0 (CC, OD, HT-C, HT-NC, PM, IoR, POF, A, E-T, E-F, E-M, EF, LU, WU, RU-MM, RU-EC).	E A S E T E C H (v3.4.4)
<b>Stefanini et al. (2024)</b>	Cuna a la tumba (Cradle-to-grave)	EPD 2018	8	GWP, Acidificación, Eutrofización, Oxidación Fotoquímica, Agotamiento Abiótico (elementos y fósiles), Escasez de Agua, Agotamiento Ozono.	SimaPro 9.4 / Ecoinvent 3.7

La Tabla 2 consolida estos hallazgos por fase del ciclo de vida. Dentro de cada etapa, se analizan las categorías de impacto ambiental y se describen las ventajas y desventajas de los diferentes materiales según lo reportado en los estudios revisados.



# Anexo 2

## Análisis de ciclo de vida

Material / Alternativa (vs. Referencia)	Fase del Ciclo de Vida	Categoría de Impacto	Ventaja / Desventaja	Hallazgo Específico y Cita	Autores
Bio-PET, Bio-PE, PLA (vs. Plásticos Fósiles)	1. Extracción y Fabricación	GWP	Ventaja	Reducciones del 28% al 57%. La fijación de CO <sub>2</sub> en la producción de la materia prima vegetal es el factor clave.	(Koch & Mihalyi, 2018)
Bio-PET, Bio-PE, PLA (vs. Plásticos Fósiles)	1. Extracción y Fabricación	Acidificación (AP)	Desventaja	Aumento del 142% al 461%. Los procesos agrícolas (maquinaria, fertilizantes) son la principal causa.	(Koch & Mihalyi, 2018)
Bio-PET, Bio-PE, PLA (vs. Plásticos Fósiles)	1. Extracción y Fabricación	Eutrofización (EP)	Desventaja	Aumento del 422% al 2600%. El uso de fertilizantes es el principal contribuyente.	(Koch & Mihalyi, 2018)
Cartón + Bioplástico (vs. EPS/PET/PP)	1. Extracción y Fabricación	Salud Humana (HH)	Ventaja	Menor impacto que los plásticos fósiles al evitar la extracción y refinado de petróleo.	(Desole et al., 2024)
Cartón + Bioplástico (vs. EPS/PET/PP)	1. Extracción y Fabricación	Cambio Climático (CC)	Ventaja	Menor impacto que el EPS y el PP.	(Desole et al., 2024)
Cartón + Bioplástico (vs. EPS/PET/PP)	1. Extracción y Fabricación	Recursos (R)	Ventaja	Menor impacto que los plásticos fósiles.	(Desole et al., 2024)
Cartón + Bioplástico (vs. EPS/PET/PP)	1. Extracción y Fabricación	Calidad del Ecosistema (EQ)	Desventaja	>20% mayor impacto. Debido al procesamiento de la madera y al cultivo de maíz/caña para el bioplástico.	(Desole et al., 2024)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	1. Extracción y Fabricación	GWP	Ventaja	60% de emisiones. El almidón es una materia prima renovable que actúa como sumidero de carbono.	(Razza et al., 2015)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	1. Extracción y Fabricación	Recursos Fósiles	Ventaja	50% de consumo. No se utiliza petróleo como materia prima	(Razza et al., 2015)

Material / Alternativa (vs. Referencia)	Fase del Ciclo de Vida	Categoría de Impacto	Ventaja / Desventaja	Hallazgo Específico y Cita	Autores
Espuma de Almidón (vs. EPS)	1. Extracción y Fabricación	Ozono Fotoquímico	Ventaja	90%. Se elimina el uso de pentano (agente expansor del EPS) que es un precursor del smog.	(Razza et al., 2015)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	1. Extracción y Fabricación	Eutrofización	Desventaja	+30% de impacto. Debido al uso de fertilizantes en el cultivo de la tapioca.	(Razza et al., 2015)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	1. Extracción y Fabricación	Acidificación	Desventaja	+10% de impacto. Influenciado por el mix eléctrico de Italia y el transporte de la materia prima desde Tailandia.	(Razza et al., 2015)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	5. Fin de Vida	GWP (en vertedero)	Desventaja	La biodegradación anaeróbica genera metano, un potente GEI. Un 50% de biodegradación duplica las emisiones del escenario base.	(Razza et al., 2015)
Espuma de Almidón (vs. EPS)	5. Fin de Vida	Recuperación de Residuos	Ventaja	El compostaje industrial permite aumentar la tasa de reciclaje del 0.5% (mecánico de EPS) al 40% (orgánico).	(Razza et al., 2015)
Film de PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	1. Extracción y Fabricación	Cambio Climático	Ventaja	43% de impacto. Origen biobasado del PLA.	(Bala et al., 2022)
Film de PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	1. Extracción y Fabricación	Uso de Recursos Fósiles	Ventaja	44% de impacto. No se basa en petróleo.	(Bala et al., 2022)
Film de PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	1. Extracción y Fabricación	Uso de Tierra	Desventaja	Impacto >98% mayor. Se necesita tierra para cultivar el maíz del que se deriva el PLA.	(Bala et al., 2022)
Film de PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	1. Extracción y Fabricación	Uso de Agua	Desventaja	Impacto >79% mayor. Se necesita agua para el riego de los cultivos de maíz. (Bala et al., 2022)	(Bala et al., 2022)
Las Alternativas	2. Fabricación / Conversión	Consumo de Electricidad	-	La fase de extrusión es una de las principales fuentes de impacto en el ciclo de vida, independientemente del material.	(Stefanini et al., 2024)
Las Alternativas	3. Distribución y Transporte	GWP	Neutral	No se reportan diferencias, ya que el peso y volumen de las alternativas de film/ espuma son similares	

Material / Alternativa (vs. Referencia)	Fase del Ciclo de Vida	Categoría de Impacto	Ventaja / Desventaja	Hallazgo Específico y Cita	Autores
Las Alternativas	4. Uso	Todas las categorías	Neutral	Fase con impacto nulo o despreciable para productos de un sólo uso que no requieren energía o limpieza.	(Michaliszyn-Gabryś, 2022)
LDPE Reciclado (R-LDPE) (vs. LDPE Virgen y Bioplásticos)	1. Extracción y Fabricación	Todas las categorías	Ventaja	El uso de material reciclado post-industrial evita la extracción de materia prima virgen, resultando en la mejor opción ambiental general del estudio.	(Stefanini et al., 2024)
PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	5. Fin de Vida	GWP (en compostaje)	Desventaja	El compostaje industrial es intensivo en energía y emite metano, resultando en un mayor impacto climático que la incineración.	(Bala et al., 2022)
PLA / PLA+NC (vs. LDPE/PP)	5. Fin de Vida	GWP (en incineración)	Ventaja	La incineración con recuperación de energía genera créditos ambientales por la electricidad producida, siendo la opción más favorable.	Bala et al., 2022; Michaliszyn-Gabryś, 2022)
PLA (vs. PP)	5. Fin de Vida	GWP (en EoL optimizado)	Ventaja	Cambiar un sistema basado en vertedero de PP a uno de reciclaje/compostaje de PLA reduce el GWP en un 39% y genera una ganancia económica	(Atabay et al., 2022)
PLA (vs. PP)	5. Fin de Vida	Impactos Tóxicos	Desventaja	Aumentar las actividades de gestión de residuos (clasificación, procesamiento) aumenta las emisiones de carcinógenos (+137%) y no carcinógenos (+456%).	(Atabay et al., 2022)
Plásticos Biodegradables (PBDs) (Vías de gestión)	5. Fin de Vida	Todas las categorías	Ventaja (Reciclaje Mecánico)	El reciclaje mecánico (SP2) ofrece los mayores ahorros netos en 14 de 16 categorías de impacto.	(Mhaddolkar et al., 2024)
Plásticos Biodegradables (PBDs) (Vías de gestión)	5. Fin de Vida	Todas las categorías	Desventaja (Compostaje)	El compostaje (SB1) genera la máxima carga neta en 7 categorías, incluyendo GWP, por las emisiones del proceso.	(Mhaddolkar et al., 2024)



Construyendo un  
mundo más sostenible  
e inclusivo a través de  
la erradicación de la  
contaminación plástica.  
[globalplasticaction.org](http://globalplasticaction.org)