



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN

**MAESTRÍA EN GESTIÓN Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS**

**TESIS**

**EMPAQUES ABRASIVOS**

Para obtener el título de  
Maestría en Gestión y Desarrollo de nuevas Tecnologías

**PRESENTA**

Juan Manuel Juárez Castillo

**Director**

Dr. Justo Fabián Montiel Hernández

**Codirectora**

Dra. Edith Jiménez Muñoz

**Comité tutorial**

Dra. Suly Sendy Pérez Castañeda

Dr. Carlos Ernesto Borja Soto

Dra. Dorie Cruz Ramírez

Sahagún, Hgo., 24 de junio de 2024.



MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO  
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
PRESENTE

Por medio de la presente, le informo que en virtud de haber cumplido las modificaciones y correcciones que el grupo de sinodales realizó a la tesis "Empaques abrasivos", presentada por Juan Manuel Juárez Castillo, con matrícula 449802, de la Maestría en Gestión y Desarrollo de Nuevas Tecnologías, se ha decidido en reunión de sinodales autorizar la impresión de dicha tesis.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

PRESIDENTE Dra. Suly Sendy Pérez Castañeda

PRIMER VOCAL Dr. Justo Fabián Montiel Hernández

SEGUNDO VOCAL Dra. Edith Jiménez Muñoz

TERCER VOCAL Dr. Carlos Ernesto Borja Soto

SECRETARIA Dra. Dorie Cruz Ramírez

PRIMER SUPLENTE Dr. Francisca Santana Robles

Sin más por el momento, reitero a usted mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Cd. Sahagún, Hgo., a 24 de junio de 2024.

DRA. SULY SENDY PÉREZ CASTAÑEDA  
COORDINADORA  
MAESTRÍA EN GESTIÓN Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

c.c.p.- Archivo.

Carretera Otumba-Cd. Sahagún, No. 7,  
Colonia Legaspi, Zona Industrial, Cd. Sahagún,  
Hidalgo, C.P. 43998.  
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 5300  
essahagun@uaeh.edu.mx



## **Agradecimientos**

### **A Dios:**

Con gratitud y humildad expreso mi más sincero agradecimiento por haberme concedido vida, salud, sabiduría, guía y fortaleza durante este largo y significativo viaje académico que culmina con la realización de esta tesis. Expreso mi gratitud por las personas maravillosas que pusiste en mi camino: mi familia, amigos, profesores y mentores, quienes me brindaron apoyo incondicional, aliento y sabios consejos a lo largo de este proceso.

### **A mí:**

Agradezco a mi propio ser por el esfuerzo, la dedicación y la perseverancia que he puesto en cada etapa de este proceso. Han sido meses de arduo trabajo, de largas noches de estudio y de momentos de duda, pero también de mucho aprendizaje y crecimiento personal. Estoy orgulloso de haber superado los desafíos y de haber alcanzado esta meta importante en mi vida académica.

### **A mis papás María de la Luz y Juan Manuel:**

Mi agradecimiento a mis padres, quienes me han brindado su apoyo, sabiduría y han compartido conmigo sus valores. Su confianza en mis capacidades y su fe inquebrantable en mi éxito, me han dado la fortaleza para superar cada obstáculo en este camino. Agradezco cada uno de los sacrificios que hicieron para que pudiera alcanzar mis metas y cada lección de vida que me enseñaron.

### **A mis abuelitos Albina y Elfego:**

Gracias por su amor incondicional, apoyo constante y sabiduría infinita. Ustedes han sido una fuente de inspiración y motivación a lo largo de mi vida. Agradezco profundamente cada momento compartido, cada lección aprendida y cada gesto de cariño que me han brindado.

### **A mi hermana Susana y a mi hermano José de Jesús:**

Gracias por ser una fuente constante de apoyo y amor durante todo este proceso. Su paciencia, comprensión y palabras de aliento han sido una luz guía en los momentos más oscuros y difíciles. Siempre han estado ahí para ofrecerme un oído atento, un consejo sabio o simplemente una sonrisa que me recordaba que no estaba solo en este camino.

Susana, agradezco cada pequeño gesto de apoyo, cada sacrificio que hiciste para que yo pudiera concentrarme en mi trabajo y cada momento en que dejaste de lado tus propios asuntos para ayudarme con los míos.

### **A mis maestros:**

Con gran respeto y admiración agradezco también a mi tutor el Dr. Fabián Montiel, a la Dra. Suly Pérez y a la Dra. Edith Jiménez, gracias por su dedicación, paciencia y guía a lo largo de mi formación académica. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera significativa a mi desarrollo personal y profesional. Sus enseñanzas, consejos y apoyo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Resumen .....	7
Abstract .....	8
<b>CAPÍTULO 1. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
1.1. Introducción .....	9
1.2. Antecedentes del problema .....	12
1.3. Planteamiento del problema.....	14
1.4. Justificación .....	15
1.5. Objetivos de investigación .....	15
1.6. Pregunta de investigación .....	16
1.7. Hipótesis .....	16
1.8 Plan metodológico.....	16
<b>CAPÍTULO DOS: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>17</b>
2.1. Marco teórico.....	17
2.1.1. Polímeros.....	18
2.1.2. Polímeros sintéticos derivados.....	20
2.1.3. Polímeros biodegradables.....	24
2.2. Marco referencial.....	33
2.2.1. Abrasivos.....	33
2.2.2. Industria de abrasivos.....	35
2.2.3. Tipo de empaques y embalajes en la industria de abrasivos.....	38
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>42</b>
3.1. Investigación cualitativa.....	42
3.2. Investigación exploratoria.....	43
3.3. La muestra.....	45
3.4. Recolección de datos.....	45
3.6. Diseño de la investigación.....	46
<b>CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....</b>	<b>48</b>
4.1. Empaques.....	48
4.2. Empaques y embalajes convencionales.....	51
4.3. Empaques y embalajes biodegradables.....	59
4.4. Ventajas y desventajas ambientales.....	60
4.5. Ventajas y desventajas económicas.....	61

4.6. Empaques y embalajes convencionales disponibles en el mercado.....	63
4.7. Empaques y embalajes biodegradables disponibles en el mercado.....	72
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
5.1. PLA, PHA y PBS.....	78
5.2. Niveles de producción global de PLA, PHA y PBS a 2025.....	80
5.3. Propuesta del proyecto: PLA.....	81
5.4. Beneficios ambientales.....	88
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
Referencias .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Desechos plásticos por industria.....	17
Figura 2. Niveles de empaques: primario, secundario y terciario.....	39
Figura 3. Envasado.....	48
Figura 4. Empaque múltiple.....	48
Figura 5. Empaque colectivo.....	49
Figura 6. Empaque.....	49
Figura 7. Embalaje.....	50
Figura 8. Etiqueta.....	50
Figura 9. Madera.....	52
Figura 10. Metal.....	53
Figura 11. Vidrio.....	54
Figura 12. Carton.....	55
Figura 13. Plástico.....	56
Figura 14. Papel.....	56
Figura 15. ClamShell.....	64
Figura 16. Empaque tipo blíster.....	65
Figura 17. Empaque de madera.....	67
Figura 18. Vaso hecho de ácido poliláctico (PLA).....	73
Figura 19. Envase hecho de ácido poliláctico (PLA).....	74
Figura 20. Envase hecho de PHA.....	76
Figura 21. Tipos de plásticos PLA, PHA y PBS.....	78
Figura 22. Producción global de bioplásticos 2020 – 2025.....	81

## Resumen

El sector industrial de abrasivos enfrenta un desafío significativo debido a la alta generación de residuos sólidos, especialmente derivados de empaques no reciclables como poliolefinas y PET, que contribuyen a la contaminación ambiental y al agotamiento de recursos fósiles. Esta situación ha llevado a un interés creciente en la adopción de empaques biodegradables como una alternativa más sostenible. Los empaques biodegradables, fabricados a menudo a partir de recursos renovables, ofrecen la ventaja de descomponerse en componentes inofensivos después de su uso, reduciendo así la acumulación de residuos. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos técnicos, como las propiedades de barrera y físicas, además de consideraciones económicas en comparación con los plásticos convencionales. La investigación propuesta busca explorar las implicaciones ambientales de los empaques biodegradables en la protección de productos abrasivos mediante una revisión exhaustiva de la literatura científica, con el objetivo de evaluar su viabilidad y destacar tanto sus beneficios como las áreas que requieren mejoras para una adopción más amplia y efectiva en la industria.

## **Abstract**

The industrial sector of abrasives faces a significant challenge due to the high generation of solid waste, especially from non-recyclable packaging such as polyolefins and PET, which contribute to environmental pollution and the depletion of fossil resources. This situation has led to growing interest in adopting biodegradable packaging as a more sustainable alternative. Biodegradable packaging, often made from renewable resources, offers the advantage of decomposing into harmless components after use, thereby reducing waste accumulation. However, its implementation faces technical challenges such as barrier and physical properties, as well as economic considerations compared to conventional plastics. The proposed research aims to explore the environmental implications of biodegradable packaging in protecting abrasive products through a comprehensive review of scientific literature, with the goal of assessing its viability and highlighting both its benefits and areas needing improvement for wider and more effective adoption in the industry.



# CAPÍTULO 1: CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

## 1.1 Introducción

Los envases de plástico han contribuido notablemente al desarrollo de diversas industrias de los sectores de alimentos, bebidas, cosméticos, farmacéutica, construcción, transporte, medicina, electrónica y agricultura, debido a que estos materiales presentan características importantes como lo son la rentabilidad y durabilidad; generalmente están diseñados para ser productos desechables por su bajo costo y para asegurar y mantener altos estándares de higiene (Licciardello, 2024).

El uso creciente de los empaques de plásticos ha provocado diversos problemas de contaminación ambiental y de salud, por lo cual es inminente implementar medidas correctoras y preventivas en la gestión al final de su vida útil (Jeswani et al., 2023).

Desde la década de 1950 la comercialización de plásticos se ha vuelto de vital importancia en la vida diaria; entre 1950 y 1970 la producción de plásticos se multiplicó por 174 y se estima que se duplique para el año 2030. Estos materiales son útiles, duraderos y persistentes. En el año 2015 se estimó que el 79% de los residuos plásticos globales son desechados en vertederos o arrojados en el medio ambiente, el 12% se incineraron y solamente el 9% fueron reciclados (Diana, et al., 2022).

El sector del envasado y empaquetado es el mayor generador de desechos plásticos de un solo uso en el mundo. Aproximadamente el 36% de todos los plásticos producidos se utilizan en envases o embalajes (Llorenç Milà i Canals, 2024), lo cual representa un desafío importante en el manejo de estos residuos en este sector de la industria.

Considerando los efectos del cambio climático y las políticas de sostenibilidad ambiental, se proponen soluciones innovadoras para mitigar los impactos negativos al ambiente y a la salud pública, mediante la implementación de energías renovables, gestión y manejo de residuos,

que ofrecen enfoques sustentables para abordar los desafíos ambientales globales y contribuyen de manera preponderante al desarrollo económico y social (Johnson y Schaltegger, 2020).

En el sector industrial se encuentra una gran área de oportunidad con respecto al material del embalaje de productos, que generalmente son elaborados a partir de materiales plásticos para garantizar y proteger los productos, cumpliendo de manera directa su función, pero generando grandes cantidades de residuos, provocando severos impactos negativos al ambiente, por lo que se están buscando nuevas opciones para cumplir con los principios de la sostenibilidad y la mejora de los envases y los empaques plásticos, para lo cual destacan el uso de la última tecnología para incursionar en el ámbito de los empaques flexibles, que procesen muy bien, y que tengan alta rigidez, alta resistencia y que se pueda hacer más con menos (Somlai, 2023).

Durante los primeros años del siglo XXI diversas industrias de la Ciudad de México se preocuparon por la conservación y la protección de sus productos mediante la utilización de empaques de plástico, los cuales generan una gran cantidad de residuos contaminantes. En el año 2020 la industria de abrasivos en la Ciudad de México generó 4,000 toneladas mensuales de materiales de empaque, lo que representa una aportación de 0.001% de residuos sólidos que se generan en el país. Los empaques para la industria de los abrasivos son de suma importancia, debido a las características fisicoquímicas que presentan (Sedema,2020).

Particularmente la industria de abrasivos en la demarcación de Iztapalapa en la Ciudad de México, presenta un grave problema por la gran cantidad de empaques de plástico que utiliza y por ende la generación de altos niveles de desechos contaminantes. En la actualidad “la acumulación de residuos sólidos en rellenos sanitarios es una de las causas que contribuyen al calentamiento global por la generación de gases efecto invernadero como el dióxido de carbono” (Rodríguez y Martínez, 2013, p. 1).

En México la fabricación de productos abrasivos se compone por cerca de 43 establecimientos los cuales se encuentran distribuidos en el territorio nacional, con ingresos

anuales estimados en MXN \$2,300 millones y con una plantilla de colaboradores cercana a las 2,600 personas (MarketDataMéxico, 2022).

En concordancia con un enfoque de sustentabilidad es medular implementar acciones para convertir los empaques en mono materiales cuando sea posible y materiales que sean compatibles para su proceso de reciclado y descomposición, lo que implica que la industria deberá repensarse en tanto la impresión y la conversión para la producción de los empaques y envases sigan la gran transformación a gran escala en la que se hallan inmersos, y reta a todos los convertidores que identifiquen las ventajas que tienen ante sí y que se preparen para hacerles frente hoy (Pettersen et al., 2020).

Con el nuevo formato y los rápidos desarrollos en su dinámica comercial, en especial en el comercio electrónico, se le augura un futuro promisorio y la actual tendencia requiere tiradas de producción más cortas, pedidos reiterados y total flexibilidad, lo cual ejerce mayor presión sobre los convertidores para que adapten la capacidad de sus líneas de producción de embalajes, en lo que implica el mundo de los empaques abrasivos (Economy, 2019).

Debido a los diferentes problemas medioambientales que presenta el uso de plásticos convencionales para empaques se presenta una posible solución, la cual consiste en el uso de empaques biodegradables como una alternativa ambientalmente aceptable, cuyo propósito es la sostenibilidad de los empaques, así mismo, presentan una diversidad en materiales con características como es la durabilidad, las propiedades de barrera y vida útil del material protegido lo cual representa una solución innovadora para reducir los desechos del envasado (Mahmud et al., 2024).

El uso de los empaques biodegradables se encuentra en crecimiento en el año 2024, por lo que las industrias deben de sumarse a este cambio de paradigma debido a que los consumidores optan y prefieren en la mayoría de casos el consumo de productos con empaques biodegradables (Mahmud et al., 2024).

## **1.2 Antecedentes del problema**

En el año 2020, en México se generaron 120,128 toneladas de residuos sólidos diariamente, aunado a la falta de cobertura de recolección de los mismos, lo que supondría que 19,377 toneladas de residuos no son recolectadas debido a que únicamente está cubierto el 83.87% del territorio. Se estima que únicamente 38,351 toneladas diarias de residuos son aprovechadas mediante el reciclaje o la recuperación de energía (Semarnat, 2020).

La producción mundial de plástico ha experimentado un rápido crecimiento desde la década de 1950, en el año de 2021 la producción anual se estimaba en 450 millones de toneladas métricas (Wu et al., 2021). Aunque la aportación de los plásticos en la industria ha sido de gran ayuda, la preocupación ambiental por la contaminación plástica toma relevancia debido a que en el año 2021 se generaron más de 340 millones de toneladas de residuos plásticos en todo el mundo, siendo el 46% producido por el sector de empaques utilizados en materiales cuya vida útil promedio es de 6 meses o menos (Wu et al., 2021).

Los empaques de plástico han contribuido al desarrollo de la industria debido a que presentan características importantes como es ligereza, versatilidad y bajo costo, en la mayoría de estos materiales están diseñados para ser de un solo uso; sin embargo, este tipo de materiales han generado y elevado los niveles de residuos (Licciardello, 2024).

La producción de empaques representa el 40% de la producción mundial de plástico, en su mayoría estos materiales están diseñados para ser desechados después de un solo uso, lo que provoca en términos de contaminación que casi la mitad se conviertan en residuos en menos de tres años (Economy, 2019).

La efectividad de utilizar envases reutilizables se basa en el sistema de depósito y devolución, lo que garantiza los recursos e inversiones para materiales de un solo uso, lo que provoca que los consumidores sean parte importante de este proceso (Licciardello, 2024).

Hasta los años noventa, casi el 90% de los materiales poliméricos en uso comercial se enterraban en basureros y alrededor del 10% se incineraban y únicamente en Estados Unidos en el año de 1991 se recicló el 2% (Newell, 2010).

No hay datos disponibles para medir los efectos ecológicos adversos de los contaminantes ambientales plásticos de aguas profundas, estos materiales se absorben o adhieren al fondo marino dependiendo de varios factores como es la biodisponibilidad y coeficientes de partición que varía según el tipo de polímero (Dasgupta et al., 2021).

Derivado de los problemas de salud causados por la Covid 19 muchas empresas presentaron dificultades al momento de conseguir algunos insumos para el empaquetado de sus materiales, uno de los más importantes fue el caso del cartón (El Financiero, 2021).

Algunos países han prohibido contaminantes orgánicos, los cuales afectan el sector marino entre los que se encuentran desechos de plásticos; se estima que entre 4.8 y 12.7 toneladas de plástico han entrado a los océanos, de los cuales 0.26 TM están flotando en los mares principalmente en forma de micro plásticos, el resto se hunde y se deposita en el fondo marino (Dasgupta et al., 2021).

Uno de los principales problemas que tiene la industria de abrasivos es la generación de altos niveles de desechos contaminantes. En la actualidad “la acumulación de residuos sólidos en rellenos sanitarios es una de las causas que contribuyen al calentamiento global por la generación de gases efecto invernadero como el dióxido de carbono” (Rodríguez y Martínez, 2013, p. 1).

Bajo este contexto, se hace el siguiente planteamiento del problema.

### 1.3 Planteamiento del problema

Al considerar que los abrasivos se encuentran entre los productos que más se requieren en industrias como la construcción, automotriz, maderera, mueblera, aeroespacial, petrolera, metalmeccánica y que esta industria genera altos niveles de residuos sólidos que tienen como destino final los rellenos sanitarios, se hace necesario buscar alternativas de empaques y embalajes de estos productos que sean amigables con el medio ambiente, ya que el consumo de productos plásticos ha aumentado considerablemente año con año, lo que provoca que se agoten los recursos fósiles y provoquen una contaminación al medio ambiente por los desechos generados (Mahmud et al., 2024).

Así que el concepto de sostenibilidad está ganando importancia en este sector, el objeto de cualquier progreso debe ser el logro de resultados superiores y al mismo tiempo minimizar cualquier impacto al medio ambiente; la industria debe de tener como objetivo producir más materiales manteniendo una huella ecológica mínima (Biodegradable Cellulosa, n.d.)

Los materiales fabricados con poliolefinas y poli (tereftalato de etileno), conocido como PET, no son reciclados fácilmente, lo que provoca que después de un corto plazo terminen en vertederos después de un solo uso y de un corto tiempo (Wu et al., 2021).

Uno de los principales problemas que tiene la industria de abrasivos es la generación de altos niveles de desechos contaminantes, los cuales son producidos en su mayoría en empaques poco eficientes y contaminantes, que son enviados a rellenos sanitarios, promoviendo la acumulación de residuos sólidos que contribuyen al calentamiento global por la generación de gases efecto invernadero, como el dióxido de carbono.

Bajo este contexto se hace el siguiente planteamiento:

¿Los empaques biodegradables son una alternativa viable para la sustitución de los plásticos tradicionales de un solo uso en la industria de abrasivos, que contribuya a disminuir el impacto ambiental que genera la alta generación de residuos sólidos de este sector?

## **1.4 Justificación**

La sociedad y los gobiernos presentan una preocupación por la contaminación plástica, lo que ha provocado la aparición de polímeros biodegradables como un material viable para aplicaciones de envasado de diferentes productos. Este tipo de biopolímeros presentan una serie de beneficios y su fabricación en muchos casos es a partir de recursos renovables. Una vez utilizados y desechados se descomponen gradualmente en componentes inofensivos, lo que reduce la acumulación de residuos. Este tipo de materiales presentan problemas relacionados a sus características físicas y de protección de barrera, así como en la parte económica en relación con los plásticos actuales (Mahmud et al., 2024).

En la búsqueda de nuevos materiales amigables con el medio ambiente los polímeros biodegradables representan un material con gran potencial. Encontrar el equilibrio entre la rentabilidad y sostenibilidad es uno de los mayores desafíos que se están presentando en la implementación de los empaques biodegradables (Mahmud et al., 2024).

## **1.5 Objetivos de investigación**

### **Objetivo general:**

Describir las implicaciones ambientales derivadas de la utilización de empaques biodegradables para proteger productos abrasivos, mediante una revisión bibliográfica.

### **Objetivos específicos:**

- Comparar las ventajas y desventajas de los empaques biodegradables frente a los convencionales, mediante una exhaustiva revisión de la literatura científica.
- Destacar las ventajas ambientales del uso de los empaques biodegradables, describiendo detalladamente las características más relevantes.

- Evaluar los beneficios potenciales de la implementación generalizada de empaques biodegradables en la industria de abrasivos.

## **1.6 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las implicaciones ambientales derivadas de la utilización de empaques biodegradables para proteger productos abrasivos?

## **1.7 Hipótesis**

¿La utilización de empaques biodegradables para proteger productos abrasivos está relacionado positivamente con el impacto ambiental producto de la generación de desechos sólidos de un solo uso en esta industria?

## **1.8 Plan metodológico**

El plan metodológico de la presente investigación se ubica en una investigación con enfoque cualitativo, de alcance exploratorio, teniendo como muestra la oferta de materiales de empaque y embalaje biodegradables disponibles en el mercado, haciendo uso para la recolección de datos de documentos escritos oficiales y documentos preparados por razones oficiales, así como archivos personales del autor del proyecto, con un diseño de teoría fundamentada.

La población de estudio fue empaques y embalajes convencionales y biodegradables existentes en 2023 y 2024 en el mercado, que puedan responder a las condiciones de producción de la industria de abrasivos.



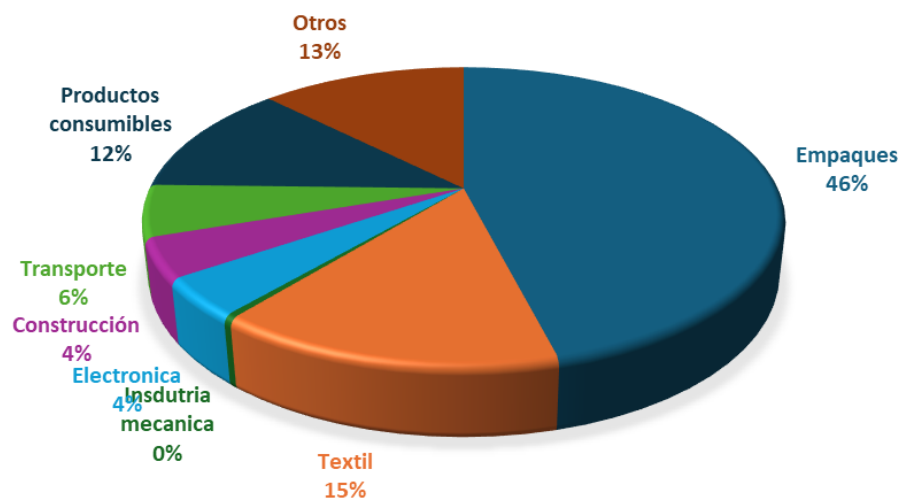
## CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Marco teórico

Los plásticos son de vital importancia en la actualidad debido a los diferentes usos que se le han dado, pero a pesar de todos los beneficios existe una preocupación por la contaminación que estos materiales han traído. Se estima que 340 millones de toneladas de residuos plásticos se encuentran en el mundo y que 46% de esta generación de residuos se debe a los diferentes empaques en los que son utilizados. En la figura 1 se muestran los diferentes sectores de los residuos de plásticos en el año 2018 (Wu, Misra y Mohanty, 2021).

**Figura 1.**

*Desechos plásticos por industria*



Nota: Wu, Misra y Mohanty (2021).

### 2.1.1. Polímeros

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha empleado polímeros naturales como la lana o la madera. Sin embargo, los polímeros sintéticos, aunque son materiales relativamente modernos, se han vuelto indispensables en el mundo contemporáneo. El primer polímero completamente sintético fue la resina fenol-formaldehído, conocida como Bakelita®, patentada en 1907. El término "plástico" se utiliza como sinónimo de polímero sintético y engloba a los termoplásticos, termoestables, elastómeros, fibras, adhesivos y pinturas. Es interesante observar cómo los polímeros sintéticos irrumpieron en escena hace más de un siglo, marcando un cambio significativo en la historia de los materiales y su aplicación en la sociedad (Meira y Gugliotta, 2019).

Desde 1950, los plásticos han sido materiales clave para el rápido desarrollo económico de la sociedad moderna. Han reemplazado exitosamente al vidrio, la madera, las fibras y los metales en diversas aplicaciones como el embalaje, la construcción, el transporte, la salud y la electrónica. Gracias a sus destacadas propiedades (bajo costo, versatilidad, durabilidad y alta relación resistencia-peso), los plásticos han contribuido a mejorar el bienestar. Por ejemplo, los envases plásticos reducen el consumo de combustible en el transporte y los gases contaminantes asociados; además, sus propiedades de barrera mantienen los alimentos frescos por más tiempo, reduciendo el desperdicio de alimentos. (MacArthur Foundation, 2024)

Los plásticos comúnmente provienen de subproductos del refinado de petróleo crudo. La producción a gran escala comenzó alrededor de 1950 y para 2015, la producción de plástico virgen superó los 8,300 millones de toneladas métricas. Durante la pandemia de COVID-19, el uso de plásticos de un solo uso resultó en la generación diaria de más de 1.6 Mt de desechos plásticos en todo el mundo. Cantidades significativas de plásticos llegan a los océanos cada año, ya sea a través de rutas terrestres, especialmente mediante el transporte fluvial, rutas marítimas o debido a la mala gestión de los residuos sólidos urbanos. Los plásticos también se encuentran en diversos entornos, como el marino, terrestre, de agua dulce y costero,

incluyendo playas, estuarios, manglares, lagunas costeras, costas rocosas y fiordos. Los plásticos se pueden clasificar según su polímero, morfología, color y tamaño, siendo los micro plásticos los más comunes en entornos costeros, y pueden ser primarios o secundarios según su origen (Thomé de Deus, et al. 2024).

Bajo este contexto, la contaminación ambiental que está presente es cada vez más grave, lo que provoca que diversas crisis afecten al medio. A lo largo de los años se han utilizado diferentes clases de polímeros para empaques, aunque en un principio fue una idea muy revolucionaria y práctica por todas las aportaciones que otorgan los mismos, el mercado cayó en una sobreexplotación, lo que provocó que estos materiales contaminaran el medio ambiente. Ante este nuevo entorno que se vive, algunos gobiernos han promulgado leyes y reglamentos cada vez más estrictos en la cuestión ambiental, lo que está provocando que la industria tome acción para afrontar este nuevo reto (Tarique et al., 2021).

De tal manera que la atención hacia la contaminación plástica en entornos naturales ha aumentado considerablemente en los últimos años, siendo objeto de interés tanto por parte de la academia, ciudadanos y quienes formulan políticas, debido a los posibles impactos negativos en los ecosistemas, economías y la salud humana. Esta contaminación puede ingresar a los ecosistemas terrestres y acuáticos desde diversas fuentes, como plantas de tratamiento de aguas residuales, vertederos, actividades agrícolas y gestión deficiente de residuos en áreas urbanas. Aunque las estimaciones recientes de la cantidad de plásticos que llegan a los sistemas acuáticos varían entre 4.8 y 23 millones de toneladas métricas al año, solo una pequeña parte de estos residuos plásticos mal gestionados termina en los océanos. La mayoría de estos plásticos se acumulan y retienen en compartimentos acuáticos y terrestres de los ríos durante largos periodos de tiempo, aunque los factores que impulsan este transporte y acumulación aún no se comprenden completamente (Tasseron, et al, 2024).

### **2.1.2. Polímeros sintéticos derivados**

Los empaques y embalajes de los diferentes materiales como los productos alimenticios permiten proporcionar información, contener los alimentos y su manipulación. Durante muchas décadas los plásticos sintéticos derivados del petróleo, como es el PE, PP, PET y PS, han sido materiales elegidos para el embalaje debido a su durabilidad, bajo costo, resistencia a la degradación y excelente mecánica. Sin embargo, la utilización masiva de estos plásticos no renovables y no biodegradables han provocado graves problemas medioambientales. Cada año se generan residuos plásticos en todo el mundo, una gran proporción de los cuales proviene de envases de alimentos de un solo uso, estos residuos contaminan los ecosistemas terrestres y marinos, lixivian sustancias químicas nocivas y plantea riesgos de ingestión y enredo para la vida silvestre (Cheng et al., 2024).

#### *Termoplásticos*

Los termoplásticos son materiales que presentan rigidez a temperatura ambiente, pero se vuelven maleables cuando se calientan, permitiendo su moldeo y posterior endurecimiento al enfriarse. Están compuestos por cadenas moleculares predominantemente lineales con pesos moleculares altos pero finitos, y su unión se da a través de diversas fuerzas intermoleculares, como las débiles fuerzas de Van der Waals en el polietileno y las interacciones dipolo-dipolo en el policloruro de vinilo. A diferencia de los elastómeros o termoestables, los termoplásticos pueden ser rehechos en nuevos objetos tras ser fundidos, aunque sus propiedades físicas pueden deteriorarse con el recalentamiento y remodelado repetido. Los elastómeros, conocidos como gomas, son materiales suaves y elásticos, con cadenas moleculares flexibles y bajo grado de entrecruzamiento, como el caucho natural vulcanizado. Por otro lado, los termoestables, también llamados termoendurecibles o termorrígidos, se endurecen mediante entrecruzamiento directo en moldes durante la fabricación, y a diferencia de los termoplásticos, no pueden ser remodelados debido a su degradación y quema a altas temperaturas. Un ejemplo de termoestable es la Bakelita, que se

utiliza en asas de cacerolas y consiste en sólidos rígidos altamente entrecruzados (Meira y Gugliotta, 2019).

A continuación se presentan algunos ejemplos de termoplásticos.

### *Poliétileno*

El polietileno es un plástico perteneciente a la familia de los termoplásticos. Actualmente se cuenta con cuatro subgrupos de materiales industriales de mayor uso: polietileno, polipropileno, poliestireno y el polivinilcloro. El polietileno es un polímero de cadena repetitiva de etileno (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>. Es una molécula compuesta únicamente de átomos de carbono e hidrógeno que se caracteriza por tener propiedades químicas y mecánicas sobresalientes, destacándose su lubricidad, resistencia al impacto y abrasión, y por ser químicamente inerte.

El polietileno también puede clasificarse como lineal o ramificado, dependiendo de si posee o no estructuras secundarias llamadas "ramas" que se proyectan desde su cadena principal. Esta característica está determinada por los procedimientos de fabricación utilizados, los cuales pueden alterar las características químicas y físicas del producto final (Cardona, Lavernia y Alcerro, 2010).

Entre los distintos métodos para desechar residuos de polietileno, el vertido en vertederos destaca por su popularidad, pero se considera el menos efectivo y más perjudicial para el medio ambiente. Por otro lado, el reciclaje mecánico ha estado en práctica desde 1972 y, aunque es el método de disposición más ampliamente utilizado en la actualidad, solo retrasa la acumulación de desechos. La única manera de eliminar permanentemente los residuos plásticos es mediante métodos destructivos como la combustión, gasificación, pirólisis o tratamientos químicos, todos los cuales han sido investigados con éxito y han demostrado que el polietileno puede ser transformado en energía, combustibles, productos químicos e incluso en monómeros para producir nuevos plásticos. Un obstáculo importante para la adopción generalizada de

tecnologías de reciclaje de polietileno es que el costo de producir nuevo polietileno es menor que el costo de reciclarlo (Ortega García y Juárez, 2024).

Procesar los residuos de polietileno en refinerías de petróleo existentes parece ser una opción excelente y práctica, ya que los altos costos para construir nuevas unidades especializadas podrían reducirse considerablemente. Los productos resultantes podrían integrarse fácilmente en productos comerciales como el GLP, gasolina y diésel, utilizarse como materia prima adicional para la producción de productos petroquímicos o como combustible (Ortega García y Juárez, 2024).

### *Polipropileno (PP)*

El Polipropileno (PP) es ampliamente empleado en la fabricación de plásticos moldeados debido a su excelente combinación de propiedades, que incluyen su peso ligero y su resistencia al impacto. En el año 2024, la demanda global de este material alcanza aproximadamente 55 millones de toneladas anuales. Este hecho ha llevado a los polímeros a reemplazar a los materiales metálicos y cerámicos, convirtiéndose en un elemento clave en la producción de una amplia gama de aplicaciones (Caicedo, et al, 2017).

El Polipropileno se emplea en diversas técnicas de fabricación convencionales, como la extrusión, inyección y termoconformado, para la creación de recipientes rígidos de embalaje, electrodomésticos, herramientas manuales, películas elásticas, fibras y tejidos, piezas para vehículos, así como materiales para el sector médico y farmacéutico, entre otros. Por consiguiente, muchas empresas han invertido en la construcción de plantas para la producción de PP (Caicedo, et al, 2017).

El copolímero aleatorio de polipropileno (PP) presenta una buena rigidez, ductilidad significativa, límite elástico aceptable y excelente resistencia química, todo ello a un costo relativamente bajo. La presencia de etileno en el PP conlleva a una baja

cristalinidad y propiedades elastoméricas, lo que hace que estos materiales sean comúnmente utilizados como mejoradores de impacto cuando se mezclan con otros materiales (Caicedo, et al, 2017).

### *PET*

El PET (tereftalato de polietileno), desarrollado originalmente para fibras sintéticas, fue posteriormente utilizado en películas de embalaje y en la fabricación de botellas. Actualmente, las botellas representan el principal uso de las resinas de PET. La producción de una botella de PET comienza con la mezcla de etileno y paraxileno para obtener la resina, que luego se moldea en preformas y se sopla para dar forma a la botella final. La estructura molecular del PET proporciona resistencia, permitiendo que las botellas soporten la alta presión generada por las bebidas carbonatadas sin deformarse ni romperse. La industria del PET ha reducido significativamente el consumo de materia prima en la fabricación de botellas y el PET es completamente reciclable, con aplicaciones en la industria textil y otros sectores (Petcore Europe, sf).

El PET exhibe propiedades mecánicas excepcionales, siendo reconocido por su dureza, rigidez y fuerza. Estas características lo convierten en una elección ideal para aplicaciones que requieren resistencia al desgaste, a impactos y a la rotura. Además, actúa como un eficaz aislante de gases y corrosión, demostrando una resistencia química notable frente a disolventes y aceites sin comprometer el producto. El PET es esterilizable mediante técnicas como la irradiación gamma y el óxido de etileno (Castro, 2024).

El PET puede ser reciclado gracias a una amplia variedad de métodos: reprocesamiento por fusión, descomposición molecular (despolimerización), purificación y repolimerización, así como recuperación de energía. Los sistemas de

recuperación de plásticos se priorizan según su efectividad en situaciones específicas (Petcore Europe, sf).

### *PS*

El PS (Poliestireno) se destaca en el mundo de los termoplásticos por su combinación única de ligereza y resistencia, atribuible a su estructura mayoritariamente aireada. Clasificado como la quinta resina más producida globalmente, detrás de materiales como el PE, PP, PVC y PET, el PS es fundamental en numerosas aplicaciones diarias (Plastic Technology Mexic, 2024).

El PS se clasifica según sus características de procesamiento y aplicación. Los tipos de poliestireno varían en contenido de aceite mineral, siendo comunes en artículos desechables como platos y vasos. Las variedades con alta resistencia térmica tienen mayor peso molecular y menos aditivos, siendo empleadas en procesos como extrusión de láminas y termoformado. Además, puede ser procesado mediante una variedad de métodos industriales convencionales, desde moldeo por inyección hasta espumado. Las piezas fabricadas pueden ser decoradas mediante técnicas como impresión y pintura, y es posible unir partes del mismo material utilizando adhesivos o soldadura térmica (Betancourt y Solano, 2016).

### **2.1.3. Polímeros biodegradables**

La producción global de plásticos ha experimentado un rápido incremento desde 1950, en el año 2021 la estimación de la producción anual se encuentra en 450 millones de toneladas métricas.



Los métodos convencionales de fabricación y procesamiento utilizan, como ya se mencionó anteriormente, es a partir de compuestos de polímeros sintéticos, donde las fuentes de fibras y polímeros provienen de materiales sintéticos. El uso de polímeros naturales para el envasado en lugar de polímeros convencionales a base de petróleo podría ser una solución para reducir los efectos ambientales.

En el año 2022, la primera elección para los diferentes productos son materiales de plástico debido a que son baratos y se permite la creación de diferentes formas de envase. Sin embargo, están causando un impacto ambiental creciente debido a sus propiedades de no biodegradabilidad intensificando el impacto ambiental. El consumo promedio estimado de plástico en la Unión Europea durante el período 2010-2019 se estimó en alrededor de 112-173 kg por habitante por año, siendo hasta 31 kg relacionados con los residuos de envases (Francisco Javier Leyva-Jiménez, 2022).

Los envases de plásticos ofrecen estabilidad a los alimentos y prolongan la alta vida de útil debido a la alta barrera, además proporcionan seguridad y protección al transporte. Como una excelente alternativa para sustituir los plásticos comerciales es la opción de sustituir estos plásticos por biodegradables, los cuales ofrecen la posibilidad de ser degradados y compostados de su uso final, aportan también la posibilidad de trabajar como barrera o membrana selectiva al gas, la humedad y aroma. En la actualidad existen pocos polímeros biodegradables y compostables en el mercado, los cuales presentan características específicas para ciertos empaques. Un factor importante es la demanda que tiene actualmente el mercado sobre las características que deben de presentar dichos materiales, lo que ocasiona que se presenten diferentes desafíos en la generación de este tipo de materiales (Wu, Misra y Mohanty, 2021)

Para poder contrarrestar esta problemática, la industria ha comenzado a utilizar la química verde y la ingeniería ecológica, una opción viable es el uso de biopolímeros, los cuales son constituidos por largas cadenas de biomoléculas que son unidos mediante enlaces de tipo covalente para formar estructuras de mayor tamaño, en algunos casos estos llegan a ser

hidrofílicos, lo que generará que se degraden fácilmente después de absorber el agua. (Singh et al., 2021)

Los materiales biodegradables son aquellas sustancias que pueden sufrir alguna descomposición en agua, dióxido de carbono, metano y biomasa debido a la acción enzimática de los microorganismos. Para poder considerar como biodegradable lo ideal es que se degrade en un plazo aproximadamente entre 1-2 meses en condiciones de compostaje. Los biopolímeros con materiales poliméricos que cumplen con dicho criterio pueden sintetizarse a partir de materiales de partida biológicos, como azúcares, almidones, aceites y proteínas o elaborados a partir de recursos fósiles con estructuras químicas que permiten la biodegradación (Cheng et al., 2024).

La industria de los biopolímeros ha introducido una variedad de soluciones técnicas y materiales innovadores. Muchos plásticos de origen biológico ofrecen propiedades mejoradas para un rendimiento superior, incluyendo mayor transpirabilidad, mayor resistencia del material, menor grosor y mejores propiedades ópticas. Materiales nuevos como el PLA, PHA y PBS no solo mejoran el rendimiento, sino que también son compostables, proporcionando soluciones sostenibles al final de su vida útil. Otros materiales innovadores, como el furanoato de polietileno (PEF) al 100%, ofrecen mejores propiedades de barrera en comparación con los polímeros tradicionales y son fácilmente reciclables mecánicamente (He y Benson, 2013).

Los biopolímeros ofrecen beneficios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente debido a sus fuentes renovables y su biodegradabilidad, aunque hay desafíos que enfrentan como es el poseer una barrera inferior contra la humedad, baja temperatura, resistencia mecánica y alto costo en comparación con los termoplásticos tradicionales (Cheng et al., 2024).

Los polímeros derivados de fuentes renovables (de base biológica) o diseñados para ser biodegradables se definen como bioplásticos que pueden clasificarse como de origen biológico pero no biodegradable, es decir, de origen biológico politereftalato de etileno (Bio-PET) y polialcohol furfurílico (PFA), y a base de petróleo o de base biológica pero

biodegradable, es decir, politereftalato de adipato de butileno (PBAT) y polilactida (PLA) (Wu, Misra y Mohanty, 2021).

Los polímeros termoplásticos se vuelven flexibles o moldeables por encima de una temperatura específica y se solidifican al enfriarse, por lo que les permiten a los polímeros como son PE, PP, PET y PS procesarse fácilmente y darles forma de envase como botella, contenedores y película de plástico; sin embargo, la mayoría de los termoplásticos convencionales no son biodegradables. Por el contrario, los polímeros biodegradables son capaces de descomponerse en sustancias naturales como agua, dióxido de carbono, metano y biomasa con la ayuda de microorganismos. Entre los polímeros biodegradables se encuentran el PLA, PHA, PBS y polímeros naturales como son los polisacáridos y proteínas (Cheng et al., 2024).

Los biopolímeros son biodegradables, ya que se descomponen en el suelo por la acción de organismos naturales y subproductos orgánicos de hojas como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que son seguros para el medio ambiente (Othman, 2014).

Cada vez más los biopolímeros se han introducido como opción renovable para materiales de embalaje y alternativas reales para evitar usar polímeros a base de petróleo. Entre las muchas opciones que se encuentran en el mercado destacan los polisacáridos (derivados de almidón y celulosa, quitosano y alginatos), lípidos (abejas, cera de carnauba y ácidos grasos libres), proteínas (caseína, suero y gluten), polihidroxibutiratos (PHB), ácido poliláctico (PLA), policaprolactona (PCL), alcohol polivinílico (PVA), succinato de polibutileno y sus mezclas de biopolímeros. El ácido glicólico (PGA) ha recibido especial atención debido a sus excelentes propiedades de barrera y producción de su precursor, el ácido glicólico, a través de una ruta metabólica natural (Youssef y El-Sayed, 2018).

Los bioplásticos, de acuerdo a European Bioplastics (2024), se dividen en tres categorías, cada una con sus propias características:

- Plásticos provenientes de fuentes renovables y no biodegradables: En esta categoría se encuentran el polietileno biológico o biopolietileno (bioPE), el bioPET y los poliuretanos de base biológica (bioPUR).
- Plásticos biodegradables hechos de fuentes renovables: Aquí se incluyen el poliácido láctico (PLA), los polihidroxialcanoatos (PHA), el succinato de polibutileno (PBS) y las mezclas de almidón.
- Plásticos derivados de recursos fósiles pero biodegradables: Esta categoría abarca la policaprolactona (PCL).

En la actualidad, los plásticos renovables son los más importantes en la industria y se espera que experimenten un gran crecimiento en los próximos años. Gracias a la fuente de las materias primas utilizadas para su fabricación, estos materiales ayudan a la industria a disminuir su dependencia de los recursos fósiles. Además, los plásticos biodegradables presentan una ventaja significativa en la gestión de residuos, ya que pueden ser procesados junto con otros residuos orgánicos en plantas de compostaje (European Bioplastics, 2024).

A continuación, algunos ejemplos de biopolímeros.

## PLA

El Ácido Poliláctico (PLA) es un poliéster alifático termoplástico derivado del ácido láctico, conocido químicamente como ácido 2-hidroxiopropanoico (LA). El PLA tiene una rigidez similar a la del poliestireno (PS) y el tereftalato de polietileno (PET). Se obtiene principalmente de recursos renovables que son fácilmente biodegradables, como el almidón de maíz, tapioca, remolacha azucarera, caña de azúcar, así como almidones de arroz, trigo y patata. Esto permite que el PLA se degrade en dióxido de carbono y agua gracias a la acción de hongos específicos (Ren, 2011).

En la actualidad, el ácido láctico se utiliza como monómero en la producción de PLA, que se emplea extensamente como plástico biodegradable. Este plástico es una opción viable para reemplazar los plásticos convencionales derivados del petróleo, ya que emite menos dióxido de carbono y contribuye a mitigar el calentamiento global, sin la necesidad de rediseñar productos o invertir significativamente en nuevos equipos de procesamiento (Ren, 2011).

El ácido poliláctico (PLA) tiene un gran potencial en el mercado y es muy valorado comercialmente, con aplicaciones que van desde el ámbito industrial hasta el uso cotidiano. Su producción masiva se debe en parte a sus excelentes propiedades. PLA destaca por su brillo, transparencia, agradable tacto, resistencia al calor (soporta hasta 110°C), y posee un alto módulo de elasticidad y dureza. Además, el PLA tiene buena estabilidad térmica, lo que ayuda a retrasar su degradación, que depende del tiempo, temperatura, impurezas de bajo peso molecular y la concentración de catalizador. Esto permite mantener su peso molecular y rendimiento. Sin embargo, a temperaturas superiores a 200°C, el PLA experimenta hidrólisis, recombinación de lactida, escisión oxidativa de la cadena principal y transesterificación, tanto intermolecular como intramolecular (Abdel Rahman y Kenji Sonomoto, 2013).

Tiene propiedades mecánicas que se comparan favorablemente con otros biopolímeros, aunque su resistencia al impacto es menor, mejorando con una mayor cristalinidad y peso molecular. En ciertas formulaciones, el PLA puede alcanzar niveles de dureza, rigidez, resistencia al impacto y elasticidad comparables a los del PET, pero es más hidrofílico y tiene una densidad más baja (Abdel Rahman y Kenji Sonomoto, 2013).

Gracias a las ventajas que ofrece el PLA debido a sus excelentes propiedades y facilidad de procesamiento, se ha demostrado ser un material prometedor con una amplia variedad de aplicaciones tanto en la industria como en productos básicos. Los envases y empaques para alimentos y bebidas son la aplicación más prometedora, ya que diversos estudios económicos han demostrado que el PLA es un material viable

económicamente para su uso como envase de polímero. Además, debido al alto consumo de productos precocinados, el PLA ayuda significativamente a mitigar el impacto ambiental, ya que es un material biodegradable (Sin, Rahmat y Rahmat, 2013).

## PHA

Los polihidroxicanoatos (PHA) son polímeros biodegradables obtenidos mediante fermentación microbiana a partir de varios sustratos, principalmente azúcares, que se sintetizan de diversas fuentes naturales. Una opción alternativa para su obtención es el uso de biomasa lignocelulósica (Alexander-Guancha, Realpe-Delgado y García Celis, 2022).

Los polihidroxicanoatos (PHA) son biopolímeros producidos dentro de ciertas células microbianas como una reserva de carbono y energía. Una vez extraídos de estas células, muestran propiedades físicas comparables a las de los plásticos derivados del petróleo. Desde la década de 1980, los PHA han sido objeto de un intenso estudio y siguen siendo un área de investigación relevante, especialmente como reemplazo de los plásticos petroquímicos. Esto se debe a que los PHA son completamente biodegradables y se pueden producir a partir de fuentes de carbono renovable (González García et al., 2013).

La principal ventaja de los polihidroxicanoatos (PHAs) es su capacidad para biodegradarse. Los gránulos de PHAs son hidrolizados por microorganismos que los utilizan como fuentes de carbono y energía. Estos microorganismos secretan depolimerasas que se adhieren a la superficie del polímero y lo descomponen en monómeros individuales. La velocidad de degradación depende tanto de la naturaleza del polímero como de las condiciones ambientales a las que se exponga. Se ha observado que los PHAs pueden degradarse en una amplia variedad de entornos, incluyendo condiciones aeróbicas, anaeróbicas, salinas y marinas (Serrano Riaño, 2010).

Los PHAs se utilizan en la fabricación de dispositivos médicos, productos de higiene personal y cuidado de la piel, películas de acolchado agrícola y envases de plástico. Por sus características, son una excelente alternativa para reemplazar plásticos de un solo uso, que son muy consumidos y contribuyen significativamente a la generación de residuos plásticos (Zambrano Castro y Riera 2021).

El principal desafío de los PHAs radica en los altos costos de producción en comparación con los plásticos sintéticos. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas de fermentación de bajo costo, implementar nuevas estrategias de producción y mejorar las etapas de purificación. A nivel industrial, los costos de producción pueden reducirse mediante el desarrollo de cepas capaces de generar grandes cantidades de PHAs. Además, el uso optimizado de consorcios microbianos mixtos para la biosíntesis de PHAs se presenta como una alternativa para producir el biopolímero con alta productividad y costos reducidos (Zambrano Castro y Riera 2021).

## PBS

El succinato de polibutileno (PBS) es un poliéster alifático biodegradable conformado por la repetición de unidades de butileno succinato, posee propiedades termomecánicas y biodegradables (Rudnik, 2013).

El polibutileno succinato (PBS) posee propiedades mecánicas similares a las de los polímeros comerciales basados en petróleo, como el polietileno y el polipropileno, incluyendo una buena resistencia a la tracción y flexibilidad. Estas cualidades lo hacen adecuado para varias aplicaciones, como el uso médico, empaques de alimentos, películas plásticas y utensilios de mesa. Sin embargo, enfrenta retos como la falta de estabilidad durante el procesamiento por fusión y la disminución de sus propiedades mecánicas en el post-procesamiento. Estos inconvenientes dificultan su adopción amplia en sectores que demandan altos estándares de rendimiento, como las fibras y textiles (Ding et al., 2024).

La extracción de oligómeros de PBS aún enfrenta muchos desafíos, como la extracción incompleta de oligómeros, el alto costo de los solventes, la alta toxicidad de los solventes y el difícil análisis estructural de los oligómeros (Ding et al., 2024).

### Polisacáridos

Los polisacáridos constituyen una de las materias primas más abundantes porque provienen de la biomasa y plantas y organismos marinos. Estos son biocompatibles, biodegradables y no tóxicos para los organismos vivos. Estos pueden tener una clasificación en términos generales como almidonados y no almidonados. Una de las formas actuales en las que se utilizan los polisacáridos en empaques es mediante películas, las cuales recubren los materiales (Donkor, et al., 2023).

### Proteínas

Las proteínas, macromoléculas orgánicas esenciales para la vida, están compuestas principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, aunque pueden incluir otros elementos en menor proporción, como azufre, fósforo y diversos metales. Estas moléculas se forman mediante la unión de unidades estructurales llamadas aminoácidos, que actúan como los componentes fundamentales de las proteínas. Dentro de las células, estas estructuras macromoleculares se ensamblan y desmontan con facilidad, lo que permite que los organismos vivos crezcan, se reparen y se regulen de manera eficaz (Gauthier y Klok, 2010).

En las últimas tres décadas, se ha llevado a cabo la modificación de proteínas mediante diversas técnicas que involucran polímeros. A pesar de que las proteínas han sido empleadas para la creación de numerosas estructuras funcionales, es importante tener en cuenta que son moléculas biológicas sensibles cuya actividad puede verse influenciada de manera positiva o negativa por distintos aspectos relacionados con la modificación polimérica (Gauthier y Klok, 2010).



Los envases de alimentos biodegradables ofrecen ventajas como es la sostenibilidad, neutralidad de carbono, mejor gestión de residuos y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, los biopolímeros también tienen algunas limitaciones, incluida una barrera inferior contra la humedad y los gases, baja resistencia al calor y mayor costo en comparación con los plásticos convencionales, por lo que se han realizado investigaciones para mejorar las propiedades de los biopolímeros mediante técnicas de procesamiento, la adición de nanomateriales, la incorporación de antimicrobianos y antioxidantes y la mezcla de polímeros. Se estimaba que el mercado mundial de bioplásticos crecería más del 15% anualmente, alcanzando aproximadamente 2.4 millones de toneladas en el año 2022. Aun con el incremento, estos plásticos representan menos del 1% del total de la producción de plásticos. (Cheng et al., 2024)

## **2.2. Marco referencial**

### 2.2.1. Abrasivos

#### *Antecedentes*

Los arqueólogos citan el pulido de armas y utensilios como el factor que determina el paso de la edad paleolítica a la neolítica (25,00 a 15,00 años antes de cristo). En aquella época, el hombre prehistórico debió utilizar la arena para limpiar y afilar cuchillos de piedra y modificar la forma de diversos utensilios. Después alguien debe haber descubierto que se obtenían mejores resultados frotando la herramienta contra una piedra arenisca, misma que con el transcurso del tiempo se fue perfeccionando hasta tomar la forma de rueda que gira sobre su propio eje (Hernández Jiménez, 2019).

Los procesos abrasivos son tan antiguos como el hombre mismo, aunque en los tiempos más remotos se empleaban abrasivos naturales, a diferencia de este siglo en el que los abrasivos artificiales son por mucho los más usados. El hombre de las cavernas que afilaba una piedra frotándola con otra más dura, estaba realizando un trabajo abrasivo. Durante muchos siglos,

la evolución de la técnica abrasiva fue muy lenta siendo el primer avance notable el desarrollo de métodos para fabricar el óxido de aluminio y el carburo de silicio a finales del siglo XIX. (Jiménez, 2019)

### *Conceptualización*

Un abrasivo es un material utilizado para la remoción de un material. La herramienta abrasiva más comúnmente usada es la rueda abrasiva, aunque existen abrasivos con muchas otras formas. Una rueda abrasiva está formada por una infinidad de granos abrasivos unidos entre sí por medio de un aglutinante. Una rueda abrasiva gira a gran velocidad, es puesta en contacto con la superficie de trabajo, conforme cada grano abrasivo de la periferia hace contacto con la pieza de trabajo, actúa como una herramienta individual de corte y remueve una pequeña viruta de material. Debido a su elevada dureza, son capaces de producir un desgaste o corte por acción mecánica en materiales con una menor dureza que ellos. Los abrasivos pueden ser naturales, artificiales o producidos por algún otro proceso. Las principales características de los abrasivos incluyen la dureza, forma, color, peso, tamaño, composición química, entre otras (Palanna, 2015).

El rectificado es un proceso en el que se desgasta el material utilizando granos abrasivos afilados en ruedas de rectificado. Estos granos cortan virutas del material, ya sea en la cara o en los lados de las ruedas (Master Abrasives, 2020).

Los abrasivos son cristales duros que pueden encontrarse en la naturaleza o producirse de manera artificial. Estos materiales, generalmente minerales, se emplean para dar forma o terminar piezas mediante métodos como el rasgado, el frotado o el desgaste. Entre los abrasivos más comunes se incluyen el nitruro de boro, el silicio, el aluminio, el diamante, el vidrio y las cáscaras de nuez. Dado que los granos abrasivos pueden penetrar los metales y aleaciones más duros, son especialmente útiles en el trabajo con metales. Gracias a su dureza, los abrasivos son ideales para trabajar materiales muy duros como vidrio, plásticos y piedras,

pero también son efectivos en materiales más blandos como caucho y madera (Exactitude Consultancy, 2023).

### **2.2.2. Industria de abrasivos**

Los abrasivos se han utilizado en la fabricación durante más de 100 años, aunque las prácticas más tempranas se remontan a tiempos neolíticos. La falta de tecnología de máquinas herramienta significaba que las operaciones primitivas se limitaban principalmente a tareas manuales simples. Un dispositivo temprano para vestir una rueda de esmeril de piedra arenisca fue patentado por Altzschner en 1860 (Marinescu et al., 2019).

El siglo XX vio el florecimiento de los abrasivos como un proceso moderno. Publicaciones comenzaron a establecer una base científica para los abrasivos. La remoción es un proceso de mecanizado que utiliza una rueda abrasiva que gira a alta velocidad para remover material de un material más blando. En la industria moderna, la tecnología de abrasivos está altamente desarrollada de acuerdo con los requisitos específicos del producto y del proceso. Las máquinas herramientas modernas pueden ser máquinas económicas con una mesa de vaivén simple, o pueden ser máquinas costosas. Muchas máquinas de abrasivos combinan mecanismos de alimentación y movimientos de la mesa controlados por computadora, permitiendo la fabricación de formas complejas sin intervención manual. Los sistemas modernos usualmente incorporan algoritmos para compensar el desgaste de la rueda y la herramienta de aderezo. Los controles programables también pueden permitir una configuración rápida con solo presionar un botón. Los sensores de monitoreo y el control inteligente introducen el potencial para un grado de auto-optimización (Marinescu et al., 2019).

Las velocidades más rápidas de la rueda de esmeril y la tecnología mejorada de las ruedas de esmeril han permitido tasas de remoción de material significativamente mayores. Las velocidades de las ruedas de esmeril han aumentado de dos a diez veces en el último siglo. Las tasas de remoción han aumentado de manera similar y, en algunos casos, aún más. Hace

50 años, las tasas de remoción de  $30 \text{ mm}^3/\text{mm/s}$  se consideraban rápidas, mientras que hoy en día, se reportan cada vez más tasas de remoción específicas de  $300 \text{ mm}^3/\text{mm/s}$  para materiales fáciles de esmerilar. En algunos casos, las tasas de remoción superan los  $1,000 \text{ mm}^3/\text{mm/s}$ . Las profundidades de corte han aumentado hasta 1,000 veces los valores posibles hace 50 años, gracias a la introducción de la tecnología de esmerilado profundo de alta eficiencia y alimentación por arrastre (Marinescu et al., 2019).

Los avances en la productividad han dependido del aumento de la sofisticación en la aplicación de abrasivos. La gama de abrasivos utilizados en las ruedas de esmeril ha aumentado con la introducción de nuevos abrasivos cerámicos basados en la tecnología de sol-gel, el desarrollo de superabrasivos de nitruro de boro cúbico (CBN) y abrasivos de diamante basados en diamante natural y sintético (Marinescu et al., 2019).

Nuevos fluidos de molienda y métodos de entrega de fluidos de molienda también han sido esenciales para lograr mayores tasas de remoción mientras se mantiene la calidad. Los desarrollos incluyen chorros de alta velocidad, boquillas de zapato, sistemas de entrega centralizados en fábricas, aceites minerales puros, aceites sintéticos, aceites de éster vegetal y nuevos aditivos. La lubricación de cantidad mínima proporciona una alternativa a la entrega mediante inundación y chorro, orientada a una fabricación respetuosa con el medio ambiente (Marinescu et al., 2019).

### *Situación actual*

El mercado de abrasivos es vasto y está en crecimiento, especialmente en economías emergentes como India y los países del Sudeste Asiático. La expansión del mercado se debe a la creciente demanda de acabados superficiales de alta calidad y mecanizado de precisión. Además, la creciente necesidad de materiales ligeros en las industrias aeroespacial y automotriz está impulsando el crecimiento del mercado. Se anticipa que el alcance del mercado se ampliará con la demanda creciente de abrasivos ecológicos (Exactitude Consultancy, 2023).

Factores como el crecimiento en las industrias automotriz y aeroespacial, el aumento en el gasto en mejoras del hogar y el mayor uso de abrasivos en el trabajo de metales están impulsando el mercado de abrasivos. Las industrias automotriz y aeroespacial son los principales motores de este mercado, necesitando abrasivos para aplicaciones como acabado, pulido y esmerilado. Se espera que la industria automotriz crezca lentamente en los próximos años, mientras que la industria aeroespacial experimentará un rápido crecimiento, lo cual incrementará la demanda de abrasivos. Otro motor importante del mercado es la industria de mejoras para el hogar, con cada vez más propietarios emprendiendo proyectos de renovación que requieren abrasivos (Exactitude Consultancy, 2023).

La rápida urbanización, el aumento de los ingresos y el crecimiento de la población mundial han impulsado las ventas de automóviles a nivel global. Junto con la creciente utilización de abrasivos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el ruido en los automóviles, esto está fortaleciendo el mercado. Además, las prósperas industrias electrónica y manufacturera también están impulsando el crecimiento del mercado, utilizando abrasivos para fabricar semiconductores y equipos electrónicos con precisión. La industria automotriz es el mayor usuario final de abrasivos, representando más del 50% de la demanda mundial, seguida de la industria aeroespacial con alrededor del 15%. Ambas industrias requieren grandes cantidades de productos abrasivos debido a la naturaleza de sus operaciones y se espera que sigan creciendo, lo que aumentará la demanda de abrasivos. Nuevas aplicaciones para abrasivos en estas industrias también impulsarán la demanda. El sector de mejoras para el hogar también es un motor clave del mercado (Exactitude Consultancy, 2023).

Uno de los principales desafíos del mercado es la competencia de productos abrasivos de bajo costo fabricados en países con costos laborales reducidos. Estos productos pueden comprometer la calidad de la producción al no cumplir con los altos estándares de los abrasivos costosos. Otro desafío es la fluctuación de los costos de las materias primas utilizadas para fabricar abrasivos. La creciente demanda y las interrupciones en la cadena de suministro debido a factores geopolíticos han causado fluctuaciones en los precios de materias primas como el carburo de silicio y el óxido de aluminio, lo que dificulta a los

fabricantes planificar la producción y las estrategias de precios (Exactitude Consultancy, 2023).

### **2.2.3. Tipo de empaques y embalajes en la industria de abrasivos**

La globalización ha generado una mayor demanda de productos. Este aumento, junto con el crecimiento de la población en los mercados emergentes, presenta nuevos desafíos que han complicado la logística tradicional de la cadena de valor y la gestión de los empaques (Mejía Argueta et al., 2014).

El empaque es un sistema coordinado para preparar mercancías de manera segura, eficiente y efectiva para su manejo, transporte, distribución, almacenamiento, venta, consumo, y recuperación, reutilización o disposición, con el objetivo de maximizar el valor para el consumidor, las ventas y, en consecuencia, la rentabilidad de la organización (Mejía Argueta et al., 2014).

De este modo, las funciones del empaque son variadas; sin embargo, el empaque influye en cómo los clientes perciben la calidad del producto, lo que tiene un gran impacto en las ventas, a decir de Mejía Argueta et al. (2014), las principales funciones del empaque son:

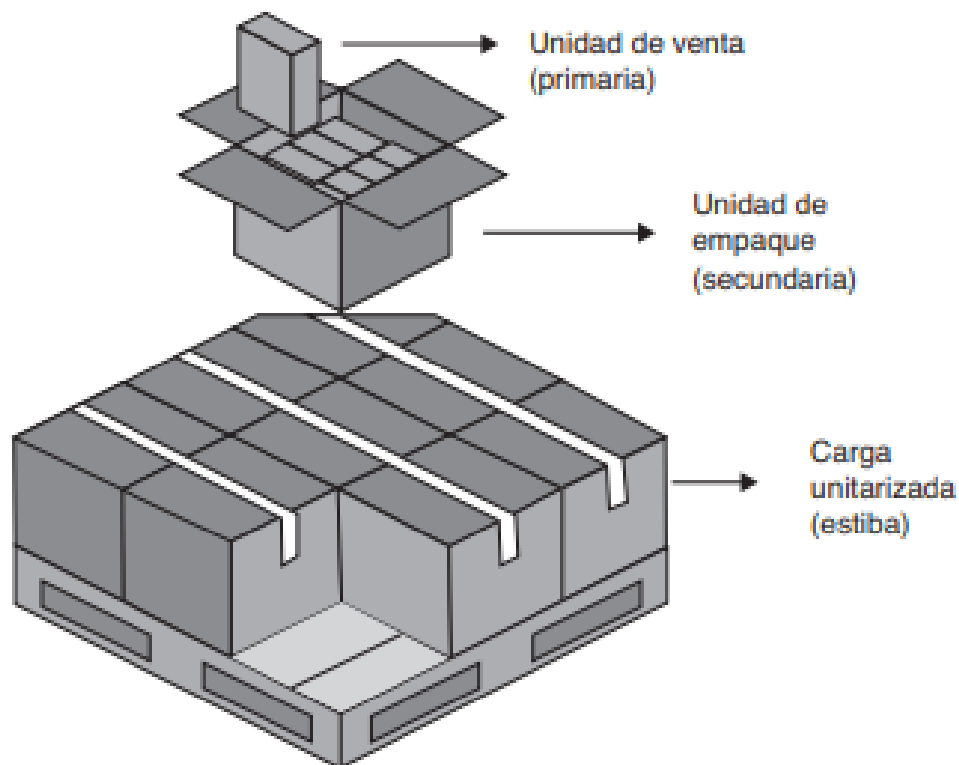
- Protección contra daños y conservación.
- Consolidación y transporte de la carga.
- Información y visibilidad del producto.

El tamaño del empaque es un factor crucial, ya que puede afectar cualquier orden optimizada si el diseño del empaque no tiene la cantidad adecuada de productos. Por lo tanto, la configuración de los empaques influye significativamente en la efectividad de la cadena de valor (Mejía Argueta et al., 2014).

En este contexto, el empaque de un producto se clasifica en diferentes niveles: primario, secundario y terciario, como se muestra en la figura X. El empaque primario tiene contacto directo con el producto y a menudo se le llama unidad de venta, mientras que el empaque secundario proporciona protección adicional al empaque primario y se denomina unidad de empaque. Para manejar grandes cantidades de empaques secundarios de manera estandarizada y consolidada, se utilizan cargas unitarizadas, conocidas comúnmente como pallets o estibas. Las estibas permiten una fácil manipulación de la mercancía para el transporte a distancias medias y largas. La palletización de la carga mejora la eficiencia en el flujo de materiales a lo largo de la cadena de valor, permitiendo reducir los costos operacionales, los tiempos de carga y descarga, optimizar los recursos (espacio, personal, etc.), aumentar el control, disminuir la intervención humana y reducir los defectos (Mejía Argueta et al., 2014).

**Figura 2**

*Niveles de empaques: primario, secundario y terciario*



Nota: Mejía Argueta et al. (2014).

Desde el año 2000, ha habido un aumento en los volúmenes de productos transportados entre ciudades debido a cambios demográficos y a la globalización. Sin embargo, dentro de las ciudades, la tendencia es contraria, ya que las tiendas prefieren comprar volúmenes más pequeños con mayor frecuencia. Por esta razón, es necesario incorporar aspectos logísticos y de diseño en la estrategia empresarial, ya que en esta influyen factores del mercado, como clientes, proveedores, competidores, productos sustitutos, entre otros. (Mejía Argueta et al., 2014).

Para definir un empaque se deben considerar variables como materiales, dimensiones, número de unidades por agrupación, diseño, marketing, etc., para que sean más efectivos, proporcionando una mejor coordinación entre fabricantes, proveedores, plataformas de distribución, detallistas, transportistas y operadores logísticos (Mejía Argueta et al., 2014).

### *Empaques en abrasivos*

La temperatura ideal para almacenar abrasivos oscila entre 18 y 22°C, con una humedad relativa de entre el 45 y el 65%. Es esencial evitar el calor excesivo, la humedad directa y la exposición a la radiación solar. Los abrasivos deben mantenerse en su embalaje original hasta su uso, y las bandas deben desengancharse antes de ser utilizadas (Marinescu, et al., 2019)

Si la humedad ambiental es demasiado alta, el soporte de los abrasivos absorberá humedad y se expandirá, haciendo que el disco de fibra se curve hacia el lado del grano. Esto provoca errores de lijado, ya que solo los bordes del disco hacen contacto con la superficie de trabajo (Marinescu, et al., 2019).

En cambio, si la humedad ambiental es demasiado baja, el soporte perderá humedad y se encogerá, haciendo que la muela abrasiva se curve hacia el lado del soporte. Esto hace que el abrasivo se seque y se vuelva quebradizo (Marinescu, et al., 2019).



La durabilidad de los discos de tronzado y desbaste está principalmente influenciada por su contenido de humedad. Los discos expuestos a altos niveles de humedad después de su producción pierden su durabilidad original. Sin embargo, si se almacenan de manera adecuada, su duración se mantiene constante a lo largo de los años. Exponer estos discos directamente al agua o al vapor de agua los convierte en un riesgo para la seguridad, sin importar su antigüedad (Marinescu, et al., 2019).

Un almacenamiento adecuado es esencial para preservar, garantizar y optimizar el rendimiento de nuestros abrasivos (Marinescu, et al., 2019).

## CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de la presente investigación se ubica en una investigación con enfoque cualitativo, de alcance exploratorio, teniendo como muestra la oferta de materiales de empaque y embalaje biodegradables disponibles en el mercado, haciendo uso para la recolección de datos de documentos escritos oficiales como preparados por razones oficiales, así como archivos personales del autor del proyecto, con un diseño de teoría fundamentada.

### 3.1. Investigación cualitativa

Una investigación es cualitativa cuando se “utiliza recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación” (Sampieri, 2006, p. 8). Entre sus características principales se encuentran:

- El investigador plantea un problema, pero no sigue un procedimiento claramente definido. Los planteamientos no son tan específicos como en el enfoque cuantitativo.
- Se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación.
- El investigador comienza examinando el mundo social y en este proceso desarrolla una teoría coherente con lo que observa qué ocurre.
- En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban teorías, estas se generan durante el proceso y van refinándose conforme se recaban más datos o son un resultado del estudio.
- El enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados. No se efectúan una medición numérica. La recolección de los datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes.
- Los datos cualitativos se consideran descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas, interacciones, conductas observadas y sus manifestaciones.

- El investigador cualitativo utiliza técnicas para recolectar datos como revisión de documentos, registro de historias...
- Las indagaciones cualitativas no pretenden generalizar de manera probabilística los resultados a poblaciones más amplias ni necesariamente obtener muestras representativas; incluso no buscan que sus estudios lleguen replicarse.

Con estas características, se puede resumir que el enfoque cualitativo es un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo visible, lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones. De ahí que el estudio se considera cualitativo, ya que se harán interpretaciones de las opciones de materiales biodegradables para el empaque y embalaje de los productos de la industria de los abrasivos.

### **3.2. Investigación exploratoria**

Los estudios exploratorios se realizan cuando un tema o problema de investigación es poco estudiado, del cual se tienen dudas o sobre temas y áreas a investigar desde nuevas perspectivas. A decir de Sampieri (2006), los estudios exploratorios son como realizar un viaje a un sitio desconocido, del cual no se ha visto ningún documental o leído un libro, sino solo se tiene información baja del lugar. Estos estudios sirven para familiarizarse con fenómenos desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto a un contexto particular.

Los estudios exploratorios en pocas ocasiones constituyen un fin en sí mismos, generalmente determinan tendencias, identifican áreas, contextos, ambientes y situaciones de estudio. Estos estudios se caracterizan por ser más flexibles, amplios y dispersos.

Bajo este contexto, el presente estudio es exploratorio, pues buscan identificar empaques y embalajes biodegradables en el sector de la industria de abrasivos, problema que no ha sido abordado en este contexto. Sí, este tipo de propuestas ya está desarrollado en otras áreas como los alimentos, pero no en el sector manufacturero, en específico en el empaquetamiento de

los abrasivos, por eso se considera un tema poco estudiado, de tal manera que será un estudio flexible y un tanto disperso.

### **3.3. La muestra**

En el proceso cualitativo, es un grupo de personas, eventos, sucesos, comunidades... sobre el cual se habrán de recolectar los datos, sin necesariamente sea representativo del universo o población que se estudia (Sampieri, 2006).

Para el caso del presente estudio, el grupo a estudiar será la oferta que existe en el mercado de materiales para el empaque y embalaje biodegradables.

### **3.4. Recolección de datos**

La recolección de datos resulta fundamental para obtener datos, que se convertirán en información de personas, comunidades, contextos, situaciones. Se recolectan con la finalidad de analizarlos y comprenderlos, y así responder a las preguntas de investigación y generar conocimiento.

La recolección de datos ocurre en los ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis.

### **3.5. Herramientas**

Una fuente muy valiosa de datos, a decir de Sampieri (2006), son los documentos, ya que ayudan a entender el fenómeno central de estudio. Le sirven al investigador para conocer los antecedentes, situaciones o funcionamiento cotidiano, entre los que se encuentran:

- Documentos escritos personales, que pueden ser de tres tipos: a) documentos o registros preparados por razones oficiales; b) documentos preparados por razones

personales y c) documentos preparados por razones profesionales, como reportes, libros, artículos, etc., cuya difusión es generalmente pública.

- Materiales audiovisuales, que consisten en imágenes, así como cintas de audio y video generadas por el individuo, con un propósito definido.
- Artefactos individuales, que son artículos creados o utilizados con ciertos fines por una persona.
- Archivos personales, que son colecciones o registros privados del individuo.

Para el caso de este estudio, la recolección de datos se hará en ambientes naturales, donde se ha publicado acerca de los productos biodegradables para empaques y embalajes existentes en el mercado. Y la herramienta de recolección de datos serán documentos escritos personales, tanto oficiales como documentos preparados por razones oficiales; así como archivos personales, por registros privados con los que cuenta el autor de este trabajo, respecto al empaque y embalaje de la industria de los abrasivos.

### **3.6. Diseño de la investigación**

Varios autores definen diversas tipologías de los diseños cualitativos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Teoría fundamentada

Su propósito es desarrollar teoría basada en datos empíricos y se aplica a áreas específicas, es decir, significa utilizar un procedimiento sistemático cualitativo para generar una teoría que explique en un nivel conceptual una acción, una interacción o un área específica. Creswell (2005) menciona que la teoría fundamentada es especialmente útil cuando las teorías disponibles no explican el fenómeno o planteamiento del problema, o bien, cuando no cubren a los participantes o muestra de interés.

- Diseño etnográfico

Pretende describir y analizar ideas, creencias, significados, conocimientos y prácticas de grupos, culturas o comunidades. Incluso pueden ser muy amplios y abarcar la historia, geografía y los subsistemas socioeconómico, educativo, político y cultural de un sistema social.

– Diseño narrativo

En este diseño el investigador recolecta datos sobre las historias de vida y experiencias de ciertas personas para describirlas y analizarlas. Resultan de interés los individuos en sí mismos y su entorno, incluyendo desde luego, a otras personas.

En ocasiones se considera una forma de intervención, ya que el contar con una historia ayuda a procesar cuestiones que no estaban claras o conscientes. Se usa frecuentemente para evaluar una sucesión de acontecimientos.

– Diseño de investigación – acción

Su propósito es resolver problemas cotidianos e inmediatos, así como mejorar prácticas concretas. Su propósito fundamental se centra en aportar información que guíe la toma de decisiones para programas, procesos y reformas estructurales. Sandín (2003), señala que este diseño propicia el cambio social, transforma la realidad y sirve para que las personas tomen conciencia de su papel en este proceso de transformación.

Para el caso de este proyecto, el diseño será teoría fundamentada, pues se busca establecer parámetros o principios del uso de empaques y embalajes en la industria de los abrasivos basado en datos empíricos, aplicándose en esta área en específico.

## CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

### 4.1. Empaques

Desde sus orígenes, la humanidad ha transportado productos utilizando diversos materiales como pieles y barriles. El envase generalmente no recibe mucha atención hasta que el consumidor lo necesita, momento en el que su diseño influye en la decisión de compra (Pérez Espinoza, 2012).

La importancia del diseño de empaques ha crecido junto con la globalización y la competencia en el mercado. En los estantes, los productos locales y extranjeros compiten lado a lado, y un buen diseño gráfico del empaque puede ser decisivo para atraer a los consumidores (Pérez Espinoza, 2012).

Para entender los empaques y embalajes, Pérez Espinoza (2012) presentan una serie de definiciones.

*Envase:*

Es el material que envuelve directamente al producto, mejorando su presentación y facilitando su manejo y distribución, además de reforzar o deteriorar su imagen.

*Envasado:*

Incluye todo el proceso desde la creación del envase hasta su aplicación al producto (figura 3).

**Figura 3.**  
*Envasado*



Nota: Tecnoembalaje Colombia (2024).

*Envase múltiple:*

Contiene varios productos idénticos en un solo paquete (figura 4).

**Figura 4.**  
*Empaque múltiple*



Nota: Boxoi (2024).



*Envase colectivo:*

Contiene distintas variedades de productos en un mismo envase (figura 5).

**Figura 5.**

*Empaque colectivo*



Nota: Cenem (2024).

*Empaque:*

Es la presentación comercial del producto que contribuye a su seguridad y venta, destacándolo en los puntos de venta y diferenciándolo de la competencia.

**Figura 6.**

*Empaque*



Nota: Ranpak (2024).



Estos elementos, cada uno con su función específica, contribuyen al manejo adecuado y a la percepción positiva del producto en el mercado.

#### **4.2. Empaques y embalajes convencionales**

Las personas están en contacto constante con diferentes empaques y envases en su vida diaria, utilizando productos como jabón, champú, crema, pasta dental y alimentos, que vienen en envases de materiales diversos como cartón, plástico, metal y vidrio. Muchos de estos materiales son ahora reutilizables o reciclables (Pérez Espinoza, 2012).

En los últimos cinco años, las empresas nacionales del sector industrial han crecido a un ritmo del 5.7% anual, y a un 6.2% cuando se usa madera como principal material de embalaje. Este sector afecta casi todas las ramas industriales y es una parte integral de la vida diaria de los consumidores. Además, la industria del envase, empaque y embalaje es crucial para la economía global debido al comercio internacional de estos productos (Pérez Espinoza, 2012).

En el desarrollo de la industria es fundamental considerar la calidad y el tipo de materiales, ya que esto afecta la durabilidad, manejo y resistencia de los envases y embalajes, así como la satisfacción del consumidor. Es esencial no descuidar el diseño de los envases ni los materiales utilizados para asegurar la calidad y extender la vida útil de los productos, satisfaciendo así las necesidades de los consumidores (Pérez Espinoza, 2012).

Hasta hace unos 15 años, los envases se utilizaban principalmente para proteger los productos. Hoy en día, gracias a la tecnología avanzada, es posible usar combinaciones de diferentes materiales en un solo envase. El mejor envase y embalaje es el que más se adapta a las especificaciones del producto y lo protege hasta llegar en excelentes condiciones al consumidor final. De acuerdo a Pérez Espinoza (2012), los materiales utilizados desde hace años son los siguientes:

### *Madera*

La madera puede ser de madera en bruto, aglomerada, contrachapada; se utiliza por ejemplo en cajas, pallets, canastas. Entre sus ventajas se encuentran que es fácil de manipular, acomodar y estibar; entre las desventajas están los altos costos, fácil descomposición, es contaminable, sensible a plagas, voluminoso, pesado, inflamable, sensible a la humedad (figura 9).

### **Figura 9.**

#### *Madera*



Nota: Case Media (2019).

### *Metal*

El metal puede ser tipo láminas de aluminio, acero, recubiertas de estaño, entre otras; se utiliza en contenedores, recipientes cajas metalizadas, por ejemplo. Entre las ventajas de estos empaques es que es fácil de estibar, es reutilizable y es un producto sólido, en contraste, entre sus desventajas es que tiene altos costos, sufren de corrosión, son difíciles de eliminar, son pesados, voluminosos y son sensible al sol (figura, 10).

**Figura 10.***Metal*

Nota: Vmingo (2024).

*Vidrio*

El vidrio puede ser de tipo boro silicato, tratado, calizo, no parenteral; algunos ejemplos de su uso son en botellas, frascos, botellones, recipientes, entre otras. Entre las ventajas de estos empaques se encuentran que es económico, reciclable y es de fácil manipulación; entre las desventajas se encuentran que es frágil, sensible a la humedad y el calor, poco sólido, no reutilizable (figura 11).

**Figura 11.***Vidrio*

Nota: Aucejo et al. (2006).

*Cartón*

El cartón es usado en tipo plano, ondulado y corrugado; se utiliza por ejemplo en cajas. Entre sus ventajas del uso del cartón se encuentran que es económico, reciclable y de fácil manipulación; entre sus desventajas es que es muy frágil, sensible a la humedad y el calor, poco sólido y es no reutilizable (figura 12).

**Figura 12.***Cartón*

Nota: Castonbox (2024).

*Plástico*

El plástico es utilizado en tipo polietileno, pliestireno, PVC, entre otros; como ejemplos tenemos las cajas, contenedores, rígidos, semirígidos, bolsas... Entre las ventajas que se encuentran con el plástico es que es impermeable, reutilizable y tiene gran variedad; entre las desventajas se encuentran que es muy frágil, sensible a la humedad y el calor (figura 13).

**Figura 13.***Plástico*

Nota: Depositphotos (2024).

*Papel*

El papel puede ser de tipo periódico, estraza de cocina, celofán; algunos ejemplos se encuentran en bolsas y envoltorios. Entre las ventajas del uso del papel se encuentra que es de bajo costo, puede eliminarse y es reciclable y entre las desventajas está que es muy frágil, sensible a la humedad y al calor (figura 14).

**Figura 14.***Papel*

Nota: Envolpaq (2024).



En la tabla 1 se muestra un resumen de las características de los embalajes y empaques mencionados anteriormente.

**Tabla 1.**

*Empaques y embalajes*

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Madera	Madera en bruto, aglomerada, contrachapada, etc.	Cajas, pallets, canastas	Fácil de manipular, acomodar y estibar	Altos costos, fácil descomposición, contaminable, sensible a plagas, voluminoso, pesado, inflamable, sensible a la humedad
Metal	Láminas de aluminio, acero, recubiertas de estaño, etc.	Contenedores, recipientes, cajas metálicas	Fácil de estibar, reutilizables, es un producto sólido	Altos costos, corrosión, difícil eliminación, pesado, voluminoso, sensible al sol
Vidrio	Boro silicato, tratado, calizo, no parenteral	Botellas, frascos, botellones, recipientes	Visibilidad del contenido, reciclable, fácil eliminación y descomposición, higiénico, reutilizable	Frágil a los golpes, pesado
Cartón	Plano, ondulado, corrugado	Cajas	Económico, reciclable, fácil manipulación	Muy frágil, sensible a la humedad y el calor, poco sólido, no reutilizable
Plástico	Polietileno, poliestireno, PVC, etc.	Cajas, contenedores, rígidos, semirrígidos, bolsas, etc.	Impermeabilidad, reutilizable, gran variedad	Inflamable, costoso, difícil eliminación
Papel	Periódico, estraza, de cocina, celofán, etc.	Bolsas, envoltorios	Bajos costos, fácil eliminación, reciclable	Muy frágil, sensible a la humedad y al calor

Nota: Elaboración propia, con base en información de Pérez Espinoza (2012).

Los plásticos, debido a su composición, tardan entre 100 y 1,000 años en descomponerse, lo que causa un gran daño ambiental. La huella ambiental de los empaques puede reducirse seleccionando materiales adecuados según las pautas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y evaluando su impacto social, de consumo

y ambiental. Sin embargo, la EPA no recomienda el uso de plásticos de baja densidad (Andrade et al., 2018).

Estos plásticos no son sostenibles porque no se reciclan eficazmente. La sostenibilidad debe basarse en el análisis del ciclo de vida para recuperar materiales y energía, minimizando el impacto en futuras generaciones (Andrade et al., 2018).

Aunque son dañinas para la salud y el medio ambiente, las bolsas plásticas son populares en la industria debido a su bajo costo y facilidad de uso. En el océano, los plásticos no son biodegradables y se fragmentan en partículas diminutas por acción mecánica y solar (Andrade et al., 2018).

El empleo de materiales compuestos como el plástico es uno de los principales responsables de los problemas ambientales actuales. Debido a que el plástico se puede producir de forma rápida y a un costo menor que otros materiales como el vidrio, la producción en masa de objetos plásticos ha aumentado significativamente. Esto ha incrementado la contaminación y la acumulación de residuos sólidos, ya que los plásticos no se degradan en el medio ambiente de la misma manera que los desechos ecológicos (Andrade et al., 2018).

El empaquetado de diferentes materiales debe de cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-EE-11-S-1980, la cual establece los requisitos para envases y embalajes metálicos, específicamente los envases de hojalata cilíndricos sanitarios destinados a contener alimentos. Esta norma tiene como objetivo asegurar que los envases utilizados sean seguros para el contacto con alimentos y no contengan niveles peligrosos de metales pesados, como el plomo, cadmio, mercurio y estaño, los cuales pueden migrar hacia los alimentos y representar riesgos para la salud humana (SEGOB, 1981).

La norma aborda varios aspectos técnicos y de calidad que deben cumplir los envases, incluyendo:

**Materiales aprobados:**

Los envases deben ser fabricados con materiales que cumplan con las regulaciones y estándares establecidos, garantizando que sean seguros para el contacto con alimentos.

**Pruebas y certificaciones:**

Es crucial realizar análisis y pruebas de migración de metales pesados en los envases para asegurar que cumplen con los requisitos de seguridad.

**Buenas prácticas de fabricación:**

Los fabricantes deben seguir normas estrictas de higiene y control de calidad durante el proceso de producción para minimizar la contaminación.

**4.3. Empaques y embalajes biodegradables**

A medida que el ritmo de vida se incrementa y la población cambia su comportamiento, también se transforman los gustos y preferencias de las personas, volviéndose más exigentes al comprar productos. Actualmente, se valoran la practicidad, la flexibilidad, la seguridad, los nuevos materiales, los diseños innovadores y los productos saludables y económicos. Por esta razón, las empresas constantemente rediseñan y modifican sus productos. El estilo de vida de las personas a nivel global está en constante cambio (Rivera et al., 2019).

Los consumidores están cada vez más preocupados por llevar una vida saludable, mostrando un interés creciente en dietas basadas en alimentos naturales. Además, hay una tendencia significativa hacia el ejercicio al aire libre y las prácticas de relajación para reducir el estrés. Las nuevas generaciones son más conscientes de su propio bienestar y del entorno, preocupándose más por el cuidado del medio ambiente, la contaminación y la eliminación de prácticas no sostenibles. Como respuesta a esta creciente conciencia global sobre el deterioro ambiental, ha surgido el marketing verde, considerado una de las principales tendencias en los negocios modernos. Por ello, el estudio y desarrollo de investigaciones en este ámbito

son cruciales tanto para las empresas como para la sostenibilidad del planeta (Rivera et al., 2019).

Con estas nuevas características del consumidor moderno, las empresas han modificado sus estrategias y han implementado numerosas prácticas de marketing verde. Estas prácticas están dirigidas a mejorar toda la cadena de valor, abarcando desde los esfuerzos de la empresa para producir y empaquetar productos que respondan a las preocupaciones ecológicas de los consumidores, hasta la comercialización de estos productos diseñados para reducir los impactos negativos en el medio ambiente (Rivera et al., 2019).

En la industria del empaque y envase, el creciente interés ambiental de los consumidores y la presión de las nuevas leyes ambientales han impulsado a la industria a invertir en materiales alternativos más sostenibles. La mayor atención y la mayor inversión de recursos científicos, técnicos y económicos en los últimos años se han dirigido hacia los envases de alimentos. Hoy en día, los envases biodegradables, también conocidos como "biopackaging", son una realidad. Estos materiales provienen de fuentes renovables, ya sea de la biomasa, como la celulosa o el almidón, o producidos por microorganismos como los polihidroxialcanoatos (PHA) (Rivera et al., 2019).

#### **4.4. Ventajas y desventajas ambientales**

El uso de biopolímeros en el desarrollo de nuevos materiales de envase reduce la dependencia de materiales poliméricos provenientes de fuentes no renovables, como el petróleo. Además, se logran beneficios ambientales y económicos en la producción de materias primas, ya que muchos de estos materiales pueden obtenerse a partir de subproductos, y en el futuro se pretende valorizarlos nuevamente o reducir los costos al final de la vida útil de los nuevos materiales (Rivera et al., 2019).

Durante muchos años, los métodos de embalaje y empaque empleados para transportar materiales desde los fabricantes hasta los consumidores han evolucionado y mejorado

notablemente. Los envases juegan un papel crucial en la preservación de los productos, especialmente a lo largo del tiempo. Los problemas ambientales tienen su origen principalmente en factores socioeconómicos. Por un lado, hay quienes se enfocan en incrementar la producción y valoran el éxito según este criterio (Montes Cabarcas, 2020).

Estos desafíos se intensifican al considerar el crecimiento de la población mundial, lo que genera tensiones y necesidades adicionales para producir alimentos, energía e infraestructura que puedan satisfacer las actividades humanas. Este conjunto de problemas constituye lo que se conoce como la huella ecológica (Montes Cabarcas, 2020).

Durante muchos años, los métodos de embalaje y empaque empleados para transportar alimentos desde los fabricantes hasta los consumidores han evolucionado y mejorado notablemente. Los envases juegan un papel crucial en la preservación de los productos, especialmente a lo largo del tiempo (Montes Cabarcas, 2020).

#### **4.5. Ventajas y desventajas económicas**

Los problemas ambientales tienen su origen principalmente en factores socioeconómicos. Por un lado, hay quienes se enfocan en incrementar la producción y valoran el éxito según este criterio. Por otro lado, existen individuos que adoptan la falaz premisa de que "más es mejor" y buscan un consumo excesivo de bienes y servicios, tanto en cantidad como en calidad (Montes Cabarcas, 2020).

Estos desafíos se intensifican al considerar el crecimiento de la población mundial, lo que genera tensiones y necesidades adicionales para producir alimentos, energía e infraestructura que puedan satisfacer las actividades humanas. Este conjunto de problemas constituye lo que se conoce como la huella ecológica (Montes Cabarcas, 2020).

A medida que el ritmo de vida se acelera y la población cambia su comportamiento, también se transforman los gustos y preferencias de las personas, quienes se vuelven más exigentes

al comprar productos. En la actualidad, se priorizan la practicidad, la flexibilidad, la seguridad, los nuevos materiales, los diseños innovadores, y los productos saludables y económicos. Por ello, las empresas continuamente rediseñan y actualizan sus productos. El estilo de vida de las personas en todo el mundo está en constante cambio (Navia y Villada, 2013).

Los materiales plásticos biopoliméricos continúan creciendo en popularidad, este crecimiento es más rápido que el de los plásticos sintéticos derivados del petróleo. Esto se debe a factores como el interés global en el uso de recursos renovables, el aumento constante del precio del petróleo y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que hace que el uso de biopolímeros sea cada vez más relevante en diversas aplicaciones (Navia y Villada, 2013).

El comportamiento funcional del empaque se manifiesta en propiedades clave como la absorción de agua, la resistencia mecánica y la permeabilidad a los gases y al vapor de agua. Estas propiedades pueden verse influenciadas no solo por el origen de las materias primas empleadas, sino también por las condiciones de procesamiento, como la temperatura y la presión de compresión, y de almacenamiento, como la temperatura y la humedad relativa (Navia y Villada, 2013).

Si se pueden crear productos biodegradables, es posible cambiar las regulaciones y ayudar a reducir los daños que la humanidad causa diariamente. Es esencial cuidar tanto a la humanidad como al planeta. Los empaques biodegradables son una excelente alternativa a los productos comunes que no son amigables con el medio ambiente. Esta opción no debe ser ignorada, ya que estos empaques ofrecen la oportunidad de mejorar las condiciones ambientales y no son tóxicos ni perjudiciales para la salud. Además, casi el 60% de la industria depende del plástico, incluso en productos básicos (Manterrosa Arrieta et al., 2021).

En el ámbito empresarial, los empaques son esenciales no solo por razones de sanidad, sino también por la presentación del producto, que es crucial desde la perspectiva del consumidor para las estrategias de marketing. Se busca que este aspecto sea aún más relevante,

considerando el medio ambiente y al mismo tiempo satisfacer las necesidades del consumidor. Aunque las empresas pueden producir productos 100% orgánicos, el desafío surge en el momento de empaquetar y distribuir, ya que los empaques biodegradables son difíciles de implementar debido a su compleja fabricación, alto costo y problemas de distribución. Además, deben cumplir con procesos de producción no contaminantes, regulados por un marco legal estricto, lo que hace casi imposible su implementación en muchos negocios verdes del país (Manterrosa Arrieta et al., 2021).

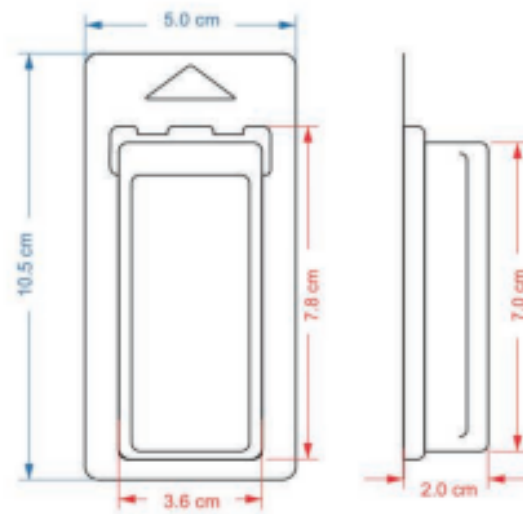
Los negocios prefieren limitar su expansión y centrarse en mercados pequeños donde puedan evitar las numerosas regulaciones, permitiéndoles comercializar sus productos de manera completamente respetuosa con el medio ambiente (Manterrosa Arrieta et al., 2021).

#### **4.6. Empaques y embalajes convencionales disponibles en el mercado**

A continuación se presentarán algunos ejemplos de empaques convencionales existentes en el mercado.

##### *ClamShell*

Un empaque ClamShell es un tipo de plástico termoformado que se puede abrir y cerrar de manera similar a una almeja. Este empaque envuelve completamente el producto, incluyendo su documentación, y ofrece una vista de 360° para el consumidor. El cierre del empaque ClamShell (figura 15) puede realizarse manualmente sin necesidad de equipos costosos, y también puede sellarse con calor, ultrasonido o radiofrecuencia para evitar el robo en el punto de venta (Novo Empaques, 2024).

**Figura 15.***ClamShell*

Nota: Novo Empaques (2024).

Entre sus ventajas se encuentran que permite una excelente protección y visibilidad del producto, proporciona estabilidad para productos ligeros a pesados, tiene múltiples cavidades contorneadas, cuenta con formas únicas o complejas o de línea, mantiene fresco el producto, es un empaque listo para colocar en tienda para su venta, además de ser versátil ya que se puede diseñar en base al producto, brinda una excelente protección, e puede abrir o cerrar, tiene, tiene vista 360° del producto ya empacado y además permite la personalización del empaque con el logo de la empresa (Novo Empaques, 2024).

El empaque ClamShell está elaborado de PET y su costo en promedio se encuentra en 6 y 7 pesos cada pieza.

### *Empaques de Plástico Termoformado*

Desde la década de los 80 hasta hoy, los termoformadores han desarrollado una gran confianza en sus procesos. Esto les ha permitido superar sus expectativas y crear líneas de



producción continuas que pueden fabricar productos termoformados terminados, utilizando no solo láminas, sino también pellets de resina (Plastic Ingenuity de México, 2024).

Desde que comenzó el proceso de termoformado, la industria del empaque ha sido la principal beneficiada debido a su alta productividad y las ventajas en términos de costo-beneficio. Actualmente, la mayoría de los equipos de empaque blister operan con alimentación automática de alta velocidad. Estos equipos, conocidos como "forma-llena-sella", se utilizan para empaquetar productos como cosméticos, carnes frías, refrescos, dulces y artículos de papelería, entre otros. La industria de la comida para llevar también se ha beneficiado de estas tecnologías (Plastic Ingenuity de México, 2024).

El empaque tipo blister, o empaque burbuja (figura 16), se destaca por su diseño transparente con cavidades que se ajustan a la forma específica de un producto. Este diseño de alta visibilidad permite una exhibición atractiva y profesional del producto, y también la inclusión de información adicional en su interior, como etiquetas o instrucciones de uso (Plastic Ingenuity de México, 2024).

**Figura 16.**

*Empaque tipo blister*



Nota: Plastic Ingenuity de México (2024).

Los empaques blister son ampliamente utilizados en las industrias alimentaria, farmacéutica, electrónica y cosmética debido a su estética, facilidad logística y protección confiable, son elaborados con PET y su costa se encuentran entre 13 y 14 pesos por pieza (Plastic Ingenuity de México, 2024).

### *Empaques de madera*

Hace algunos años, los empaques y embalajes de madera eran muy útiles para el transporte y distribución de productos, principalmente porque los comerciantes mismos los fabricaban y ofrecían gran seguridad en el manejo y traslado de mercancías (Uline, 2024).

Actualmente, el uso de empaques de madera ha disminuido a nivel mundial debido a preocupaciones ecológicas, regulaciones ambientales, requisitos sanitarios y la disponibilidad de materiales alternativos para empaque, como empaques desechables, de hule, poliestireno, flexibles, de cartón y moldeados (Uline, 2024).

Hoy en día, los empaques de madera se utilizan principalmente como embalajes para el transporte de productos pesados, tanto dentro de un país como para exportación (Uline, 2024).

Las cajas de madera se emplean principalmente para distribuir productos pesados, frágiles o voluminosos, como partes de motor, productos industriales, maquinaria y bebidas. El diseño de la caja varía según el tipo de producto y envase, existiendo desde diseños básicos hasta cajas reforzadas para soportar mayor peso y capacidad (Uline, 2024).

Entre las ventajas se encuentra que resisten a los daños causados por el impacto de la carga, tienen una alta resistencia al impacto y se pueden taladrar, perfilar, clavar, atornillar, inclusive reciclar; sin embargo, una de sus desventajas es que se hincha la madera con los rayos del sol, lo que puede provocar que se partan, se pudren con la humedad, lo que ocasiona hongos y gusanos que contaminan la carga, y además requieren un tratamiento especial para cumplir con normas oficiales (Figura 17).

**Figura 17.***Empaque de madera*

Nota: Uline (2024).

A continuación, en la tabla 2, se presentan los costos de cajas de madera como embalaje, de acuerdo a su capacidad (Uline, 2024).

**Tabla 2.***Precios de embalajes de madera*

<b>Capacidad</b>	<b>Material</b>	<b>Costo MXN</b>
12 x 12 x 12"	Madera	\$1,496
18 x 18 x 18"	Madera	\$2,002
24 x 20 x 20"	Madera	\$2,090
24 x 24 x 24"	Madera	\$2,926
32 x 24 x 24"	Madera	\$3,366
48 x 30 x 30"	Madera	\$4,444
48 x 40 x 30"	Madera	\$5,060

Nota: Uline (2024).

### *Empaques de cartón*

El cartón ondulado es ampliamente utilizado para fabricar envases y embalajes. Para comprender el cartón, primero debemos examinar el papel, que es su componente esencial. El papel está hecho de pulpa de celulosa, constituida por fibras vegetales molidas y suspendidas en agua, que se entrelazan de manera irregular pero se adhieren firmemente entre sí (Gómez Coca, 2015).

El cartón se fabrica mediante la superposición de múltiples capas de papel, lo que da lugar a una gran variedad de cartones disponibles en el mercado. El cartón ondulado, el más usado en el empaquetado, tiene una estructura mecánica que se forma uniendo varias capas de papel, con una o más capas intermedias en forma de onda (Gómez Coca, 2015).

Los principales tipos de envases hechos de papel y cartón son estuches de cartulina; cajas de cartón sólido, microcorrugado y corrugado; tambores, potes y tubos de cartón; y bolsas de papel de una o varias capas, entre otros (Gómez Coca, 2015).

Los envases y embalajes representan casi la mitad del consumo mundial de papel. De acuerdo a Gómez Coca (2015), diversos tipos de papel y cartón son utilizados para embalajes, clasificados en:

- Papel kraft: conocido por su tenacidad y resistencia, usado para fabricar sacos y bolsas de gran capacidad, como las de cemento o harina.
- Papeles encerados: ofrecen protección contra líquidos y vapores, utilizados en envases de alimentos como repostería, cereales secos, productos congelados y envases industriales.
- Cartón gris: empleado principalmente en cartonaje y encuadernación, hecho de papel reciclado.
- Cartón corrugado: utilizado para embalajes de productos frágiles y cajas en general.
- Cartón compacto: usado para fabricar cajas, con pasta de papel reciclado y ocasionalmente pasta kraft para la capa exterior.

Las propiedades del papel utilizado en la fabricación de cartón, clasificadas en físicas, mecánicas, específicas y de uso, son las siguientes:

Propiedades físicas:

Se refieren al aspecto, estructura y textura del papel.

Propiedades mecánicas:

Involucran la resistencia y rigidez del papel.

Propiedades específicas:

Relacionadas con la humedad y la capacidad de permeabilidad del material.

Propiedades de uso:

Determinan la idoneidad del material para su aplicación, como la capacidad de ondulación y su reacción al contacto con alimentos.

Entre las ventajas se encuentra que es reciclable, económico, liviano e irrompible, tiene resistencia mecánica y flexibilidad. Entre las desventajas se encuentran que puede ocupar espacio de almacenamiento cuando se trata de un envase terminado, sobre todo en envases rígidos, algunos son permeables a los gases, aromas y vapor de agua, y además presenta versatilidad de formas, al ablandarse a alta temperatura y se fragiliza a bajas temperaturas (Gómez Coca, 2015).

Entre sus costos, varían en promedio dependiendo del tamaño, pero pueden estar entre 6 y 8 pesos por pieza.

*Empaques metálicos*

Estos envases se emplean para almacenar productos como alimentos, pinturas, lubricantes, aceites, aditivos automotrices y aerosoles. De acuerdo a Muñoz (2021), los materiales utilizados en su fabricación son:

Lámina negra:

Hecha de acero de bajo carbono reducido en frío, es estructural y moldeable, utilizada en artículos ferreteros, maquinaria industrial, charolas de cocina y cubetas para cerveza y pintura.

Lámina estañada:

Lámina negra con un recubrimiento electrolítico de estaño, utilizada en envases, latas y artículos artesanales.

Hojalata diferencial:

Lámina con diferentes combinaciones de estaño en cada lado, conocida como latas o botes.

Lámina cromada (TFS - Tin Free Steel):

Acero libre de estaño, utilizado para fabricar tapas, corcholatas y fondos de latas, y es resistente al calor.

La amplia aceptación de los envases metálicos se debe a su versatilidad y excelentes propiedades para el envasado de diversos productos. Muñoz (2021) menciona algunas de estas propiedades que son:

- Resistencia mecánica y capacidad de deformación: pueden soportar golpes y moldearse fácilmente.
- Ligereza: son fáciles de manejar y transportar.
- Estanqueidad y hermeticidad: evitan la fuga de líquidos y gases.
- Opacidad a la luz y radiaciones: protegen el contenido de la luz y las radiaciones.

- Buena adherencia a barnices y litografías: permiten la aplicación de recubrimientos y decoraciones.
- Conductividad térmica: facilitan la transferencia de calor.
- Inercia química relativa: son resistentes a las reacciones químicas.
- Versatilidad: se adaptan a múltiples usos y aplicaciones.
- Estética y posibilidad de impresión: permiten diseños atractivos y personalizados.
- Reciclabilidad: pueden reciclarse, reduciendo su impacto ambiental.
- Adecuación para la distribución comercial: son aptos para el transporte y almacenamiento en el comercio.
- Capacidad de innovación y evolución tecnológica: se prestan para mejoras y avances en la tecnología de envasado.

Entre las ventajas y desventajas que Muñoz (2021), se mencionan algunas a continuación.

#### Ventajas

- Durabilidad: Los envases de hojalata de buena calidad permanecen en buen estado por mucho tiempo, protegiendo tanto el contenido como el envase mismo.
- Resistencia a fugas: Son ideales para el transporte seguro de líquidos y son irrompibles.
- Peso ligero: Estos envases pueden ser muy livianos, lo que facilita su transporte y permite su apilamiento.
- Personalización y ductilidad: Pueden ser moldeados en diferentes formas mediante presión y su superficie es ideal para la impresión y etiquetado.
- Alta barrera protectora: Ofrecen una excelente barrera contra gases, vapores, luz y microbios.
- Propiedades mecánicas: Facilitan el transporte debido a sus excelentes propiedades mecánicas.

- Velocidad de fabricación: Pueden ser producidos a altas velocidades, lo que reduce los costos.

Desventajas:

- Reactividad química y electroquímica: Pueden reaccionar con ciertos contenidos.
- Peso elevado: Comparados con otros materiales, los envases de hojalata son más pesados.
- Costo del material: El material representa el 68% del costo total del envase de hojalata.
- Deformación y deterioro: Pueden deformarse o deteriorarse durante su manejo.
- Costo por espesores mayores: El uso de espesores mayores incrementa el costo del envase.
- Opacidad: Los consumidores no pueden ver el contenido del envase.
- Corrosión por líquidos: Los líquidos pueden causar la corrosión del metal.

En cuanto a su costo, este oscila entre 4 y 14 pesos por pieza, dependiendo del tamaño.

#### **4.7. Empaques y embalajes biodegradables disponibles en el mercado**

##### *Empaques de PLA*

El ácido poliláctico (PLA) es un poliéster termoplástico alifático derivado del ácido láctico (químicamente conocido como ácido 2-hidroxipropanoico, LA). El PLA exhibe una rigidez comparable a la del poliestireno (PS) o el tereftalato de polietileno. Destaca entre los biopolímeros debido a su similitud con el PET y el poliestireno, ofreciendo una amplia gama de propiedades según su peso molecular, estereoquímica y morfología, que varían desde una estructura amorfa hasta semicristalina (Nature Works, 2024). Ver figura 18.



**Figura 18.**

*Vaso hecho de ácido poliáctico (PLA)*



Nota: Cyan Pack (2024)

El ácido poliláctico (PLA) tiene un gran potencial en el mercado debido a sus excelentes propiedades comerciales y diversas aplicaciones en sectores industriales y civiles. Este polímero destaca por su brillo, transparencia, tacto agradable, resistencia al calor (soporta hasta 110°C), alta elasticidad y dureza. Además, muestra una estabilidad térmica que retarda su degradación y mantiene el peso molecular y el rendimiento, aunque exposiciones a temperaturas superiores a 200°C pueden provocar hidrólisis y otros procesos de degradación (Nature Works, 2024).

Las propiedades ópticas y mecánicas del PLA dependen de factores como la distribución de isómeros, la temperatura de procesamiento, el tiempo de recocido y el peso molecular del polímero. Existen varios tipos de PLA, como el poli(ácido L-láctico) (PLLA) y el poli(ácido D-láctico) (PDLA), que varían en cristalinidad y características térmicas. La cristalinidad del PLA puede ajustarse entre 0% y 40%, lo cual afecta su velocidad de degradación: polímeros altamente cristalinos pueden durar meses o incluso años antes de biodegradarse, mientras que los menos cristalinos pueden descomponerse en semanas (Nature Works, 2024). Ver figura 19.

**Figura 19.**

*Envase hecho de ácido poliáctico (PLA)*



Nota: Rutren (2024).

El PLA tiene una cristalinidad aproximada del 37%, una temperatura de transición vítrea entre 60-65°C, una temperatura de fusión de 173-178°C y un módulo de elasticidad de 2.7 a 16 GPa. Por otro lado, el poli(ácido DL-láctico) (PDLLA), derivado de la mezcla de PLLA y PDLA, es amorfo con una temperatura de transición vítrea de 50-57°C y una resistencia a la tracción inferior. Se utiliza para reducir el punto de fusión del PLA, mejorando así su procesabilidad, aunque esto conlleva una disminución en la cristalinidad y velocidad de cristalización.

Además de sus propiedades físicas, el PLA es adecuado para una amplia gama de procesos de fabricación, como extrusión por fusión, moldeo por inyección, moldeo por soplado de películas, moldeo por espuma y moldeo al vacío, lo que lo hace versátil en la producción de productos plásticos, como envases alimentarios y tejidos industriales y civiles. Su costo varía entre 30 y 35 pesos por pieza, dependiendo el tamaño.

**Ventajas del PLA**

- Respetuoso con el entorno.
- Origen renovable.

- Fácil de imprimir.
- Temperatura de extrusión relativamente baja.
- Una buena adherencia a la superficie de impresión.
- Cómodo para su uso en espacios interiores.
- Flexibilidad en términos de diseño y creatividad.
- Buena resolución y detalle.
- Menos propenso a la deformación.
- Asequibilidad.
- Menor impacto ambiental.

#### Desventajas

- Puede ser sensible al calor
- Quebradizo
- Inflexible en comparación con otros filamentos

#### *Empaques de PHA*

Entre los plásticos biodegradables, los polihidroxialcanoatos (PHA) han surgido como una opción altamente prometedora debido a su capacidad para descomponerse completamente en agua y dióxido de carbono en condiciones aeróbicas, y en metano en condiciones anaeróbicas gracias a la acción de microorganismos presentes en suelos, cuerpos de agua y aguas residuales (Posada Barreto, 2022).

A decir de Posada Barreto (2022), el interés en los PHA ha aumentado significativamente en la última década, ya que además de ser biodegradables y compatibles con el medio ambiente, pueden ser producidos a partir de fuentes de recursos renovables (figura 20).

**Figura 20.***Envase hecho de PHA*

Nota. El empaque (2024).

Los polihidroxicanoatos o PHA son poliésteres lineales producidos en la naturaleza por las bacterias por fermentación del azúcar o de los lípidos. Son producidos por las bacterias para almacenar carbono y energía. Más de 150 diferentes monómeros se pueden combinar dentro de esta familia para dar materiales con propiedades extremadamente diferentes (Posada Barreto, 2022).

Estos plásticos son biodegradables y se utilizan en la producción de bioplásticos. Pueden ser materiales termoplásticos o elastoméricos, con puntos de fusión de entre 40 y 180°C. La mecánica y biocompatibilidad de los PHA también puede cambiarse mediante la mezcla, la modificación de la superficie o la combinación de PHA con otros polímeros, enzimas y materiales inorgánicos, haciendo posible una gama más amplia de aplicaciones (Posada Barreto, 2022).

*Empaques de PBS*

El succinato de polibutileno de base biológica (PBS) es un componente plataforma con aplicaciones en distintos sectores industriales. Se emplea ya en la industria petroquímica, pero también puede ser completamente biológico. El PBS biológico se produce fácilmente a

partir de material de celulosa y fuentes de biomasa vegetal renovables, sea esta extraída de vegetales o de sus residuos (Succipack, 2024).

Derivado de material renovable y conocido por su biodegradabilidad superior, el PBS es compostable en biomasa, dióxido de carbono y agua. Los productos elaborados en PBS se pueden eliminar junto con los desechos orgánicos. No tiene efectos adversos en el medio ambiente y es naturalmente compostable, sin requerir una instalación especial (Trading Films, 2023).

Entre sus beneficios se encuentran:

- Alta temperatura de servicio: las aplicaciones realizadas por PBS pueden soportar hasta 100°C. PBS se puede utilizar para vasos, cajas y utensilios de bebidas calientes para alimentos recién cocinados.
- Sellabilidad térmica de alto rendimiento: tiene al menos el mismo nivel de resistencia de sellado que el petroplástico convencional, pero se logra con una temperatura más baja.
- Buena imprimibilidad sin tratamiento previo.
- Compatible con fibras naturales.
- Excelente procesabilidad.
- Compatibilidad mutua con otros plásticos biodegradables como el ácido poliláctico (PLA). La mezcla de PBS con otros tipos de biopolímeros puede satisfacer los requisitos del cliente en un mayor grado de propiedades.

Además, presenta propiedades comparables al tereftalato de polietileno (PET); posee excelentes propiedades mecánicas y, al igual que otros poliésteres alifáticos, es térmicamente estable hasta temperaturas de aproximadamente 90-120 C. El PBS presenta muy buena procesabilidad y se puede procesar mediante técnicas de procesamiento convencionales tales como extrusión, inyección o moldeo por soplado (Trading Films, 2023).

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

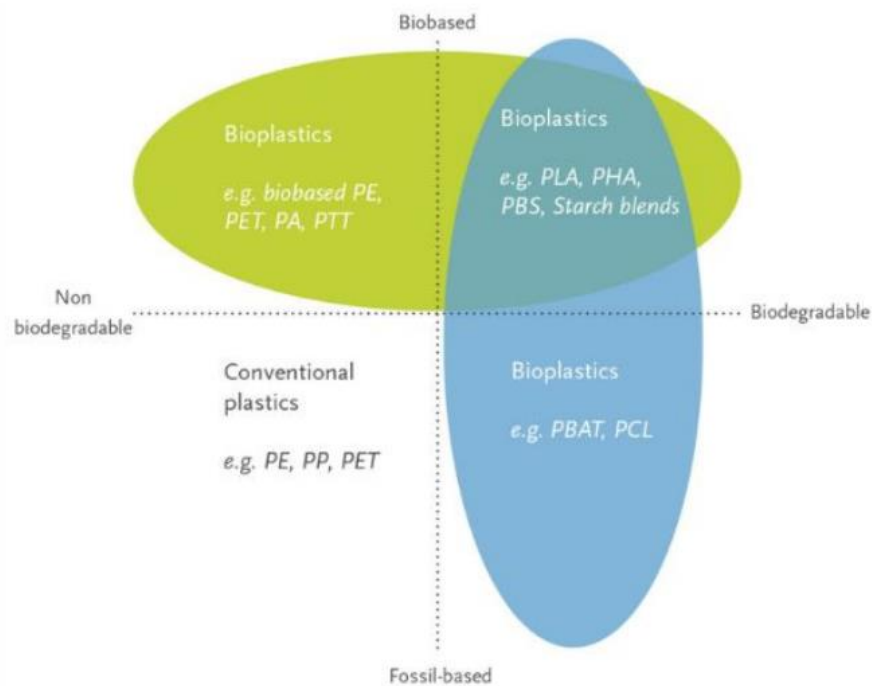
### 5.1. PLA, PHA y PBS

Los materiales biodegradables revisados: el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxicanoatos (PHA) y el succinato de polibutileno (PBS), son materiales innovadores que ofrecen soluciones con funcionalidades completamente nuevas, como la biodegradación y la compostabilidad.

En la figura 21 se muestra cómo están ubicados los tres materiales revisados, es decir, provienen de biomasa y son biodegradables.

**Figura 21.**

*Tipos de plásticos PLA, PHA y PBS*



Nota: Flores (2019).

A continuación se presentan comparativos de los empaques biodegradables revisados en el capítulo anterior.

### PLA - PHA – PBS

El PLA es un plástico de base biológica elabora a partir de recursos renovables como el almidón de maíz, la caña de azúcar y la mandioca. Se usa comúnmente en envases de alimentos y vajillas desechables, así como en impresión 3D. Es biodegradable en las instalaciones comerciales de compostaje y se descompone en dióxido de carbono, agua y materia orgánica (Ad-Bio, 2024).

El PHA es de la familia de los biopoliésteres, que están cobrando mucha fuerza, sobre todo en algunas aplicaciones como el packaging, debido a su naturaleza de ser home compost. Los PHA se producen en la naturaleza a través de la acción de bacterias por fermentación del azúcar o los lípidos, que los producen a modo de mecanismo de almacenamiento de carbono y energía. Son biobasados y biodegradables y se utilizan en la producción de biopolímeros (Ad-Bio, 2024).

El PBS es también biopoliéster y se emplea en ocasiones como parte del blen con otros polímeros. Este material se caracteriza por su elevada flexibilidad, propiedad que en los biomateriales suele ser compleja de alcanzar. Es por ello que se usa habitualmente como parte de la formulación final para mejorar las prestaciones de otros compuestos biobasados como el PLA (Ad-Bio, 2024)..

En la tabla 3 se muestra el comparativo-

**Tabla 3.***Comparativo entre PLA, PHA y PBS*

<b>PLA</b>	<b>PHA</b>	<b>PBS</b>
Es un plástico de base biológica elabora a partir de recursos renovables como el almidón de maíz, la caña de azúcar y la mandioca.	Se produce en la naturaleza a través de la acción de bacterias por fermentación del azúcar o los lípidos.	Es parte de la formulación final para mejorar las prestaciones de otros compuestos biobasados como el PLA.

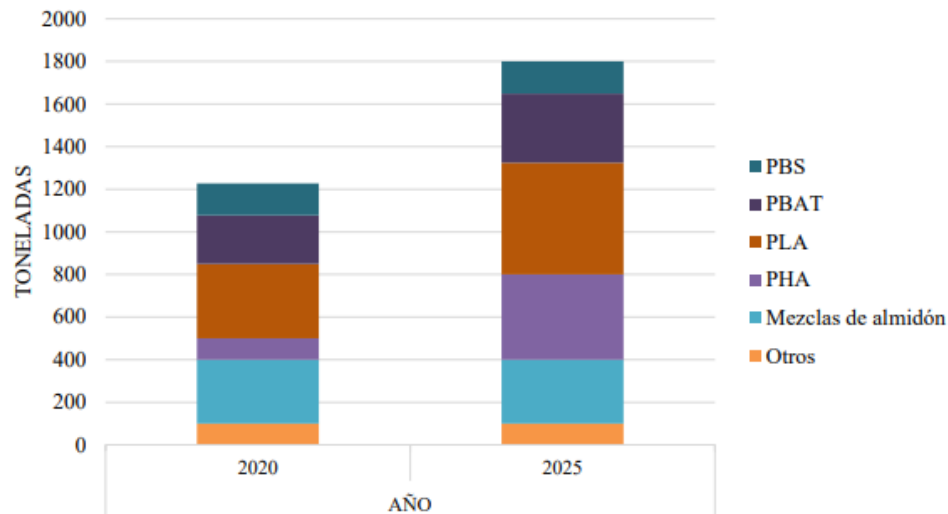
Nota: elaboración propia

**5.2. Niveles de producción global de PLA, PHA y PBS a 2025**

En la figura 22 se muestran los niveles de producción global en los bioplásticos de 2020 con proyección a 2025, en donde se observa que la producción de los tres revisados (PLA, PHA y PBS) crecerán para 2025.

El de mayor crecimiento será PHA, seguido de PLA y ligeramente incrementa la producción de PBS.



**Figura 22.***Producción global de bioplásticos 2020 - 2025*

Nota: Bioplástico Europeo (2020).

### 5.3. Propuesta del proyecto: PLA

De acuerdo a la revisión hecha de los empaques y embalajes convencionales y biodegradables, se encuentra que el material propuesto para la industria de los abrasivos es el PLA.

Como ya se ha mencionado, el ácido poliláctico (PLA) es un poliéster alifático termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico (químicamente, ácido 2-hidroxipropanoico, LA). El PLA presenta una rigidez similar al polietileno (PE), o el poli tereftalato de etilo (PET) (Auras et al., 2011). Normalmente deriva de recursos renovables que son fácilmente biodegradables como por ejemplo productos como el almidón de maíz, tapioca, remolacha azucarera o caña de azúcar, almidones de arroz, trigo y patata. Dado esto, puede ser degradado en dióxido de carbono y agua por la acción de hongos adecuados (Ren, 2011).

Hoy en día, el ácido láctico se utiliza como monómero para la producción de PLA que tiene amplia aplicación como plástico biodegradable. Este tipo de plástico es una buena opción para la sustitución de plástico convencional producido a partir de aceite de petróleo debido a la baja emisión de dióxido de carbono que contribuye al calentamiento global (Ren, 2011) y sin necesidad de rediseñar productos o ejecutar grandes inversiones en nuevos equipos de proceso (Galactic Laboratories, 2000). El PLA es un polímero versátil, reciclable y compostable (al menos alguno de sus grados), con alta transparencia, alto peso molecular y fácilmente procesable.

### *Propiedades*

El PLA presenta muy buenas perspectivas de mercado y un valor comercial excelente, con una gama de aplicaciones que van desde un uso industrial hasta el civil. El interés de producir en masa dicho producto, se debe en parte a sus buenas propiedades. Posee buenas características en cuanto a brillo, transparencia, tacto, resistencia al calor (puede soportar temperaturas de 110°C) y un alto módulo de elasticidad y alta dureza. Tiene suficiente estabilidad térmica para retardar la degradación (que depende del tiempo, la temperatura, las impurezas de bajo peso molecular y la concentración de catalizador) (Abdel-Rahman et al., 2013) y mantener el peso molecular y el rendimiento.

Sus propiedades mecánicas son buenas en comparación con otros biopolímeros, pero presentan, sin embargo, baja resistencia al impacto (aumenta al aumentar la cristalinidad y el peso molecular). Puede presentar en algunos grados dureza, rigidez, resistencia al impacto y elasticidad similares a las del PET, pero es más hidrofílico y tiene una densidad más baja. El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero.

Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste. Además, se puede procesar, como la mayoría de los termoplásticos, en fibra (por ejemplo, usando el proceso convencional de hilatura por fusión) y en película. En

definitiva, el PLA se puede formular para ser tanto rígido como flexible con otros materiales. Su buena biocompatibilidad lo ha llevado a ser ampliamente utilizado (Vasir et al., 2007).

Por otra parte, hay que resaltar que la tecnología empleada para la fabricación de PLA es muy reciente, solamente han pasado 10 años frente a los casi 100 de existencia de la petroquímica del plástico, durante los cuales ha ido mejorando. Otro de los inconvenientes del PLA puede ser el hecho de que al crecer su consumo se deberá generar mayor cantidad de sembradíos para satisfacer la demanda de materia prima para su obtención, lo que elevaría el desmonte de los suelos para ser sembrados.

### *Aplicaciones*

Debido a las ventajas que presenta el PLA por sus buenas propiedades y la facilidad de su procesamiento, ha demostrado ser un material prometedor y por ello tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en la industria como en productos básicos.

El PLA comenzó a usarse como hilo para suturas reabsorbibles y a medida que se incrementó su demanda se desarrollaron nuevas utilidades incluidas las primeras prótesis médicas. Como resultado de los numerosos estudios y avances en la síntesis del PLA, el precio de fabricación y la sencillez del proceso han impulsado el comercio de PLA para otras aplicaciones, tales como agricultura, ingeniería, productos compostables y materiales de embalaje (Ebnesajjad, 2013).

A medida que el precio del PLA caiga y las nuevas instalaciones produzcan mayores volúmenes de PLA, se buscarán nuevas aplicaciones. Las utilidades más destacadas del PLA son las siguientes:

### *Materiales de embalajes*

Los envases y empaques constituyen la aplicación más prometedora ya que mediante diversos estudios económicos se ha llegado a demostrar que el PLA es un material económicamente viable para utilizar como un envase de polímero. Además, debido al alto consumo de productos ayuda en gran medida a mitigar el impacto medio ambiental, ya que se trata de un material biodegradable. Incluso se ha llegado a demostrar que el empaquetado con PLA puede llegar a ahorrar un 30% con respecto al PET (Mariano, 2011).

Existen 4 tipos de ácidos polilácticos en la industria del empaquetado y cada uno de ellos con características especiales (Zuluaga, 2013):

4041D: gran estabilidad hasta los 265°F (130°C)

4031D: también se utiliza a gran temperatura hasta 130°C

1100D: se utiliza para hacer tazones, las cajas de las patatas fritas, empaquetado de congelado vegetal.

2000D: se utiliza en envases transparentes de alimentos, para fabricar tazas, envases de leche.

En fibras

El PLA al ser tan humectante como el algodón, se ha visto como un sustituto de fibras sintéticas, por ello, la aplicación en la fabricación de prendas de vestir tales como camisas, vestidos, ropa interior, etc. (Ren, 2011). También se han elaborado trapos y toldos y cubiertas resistentes a la luz UV.

El hecho de emplear el PLA en la industria textil presenta una serie de ventajas (Ren, 2011), entre las que se encuentran bajo peso específico comparado con otras fibras naturales, lo que implica productos más ligeros; tenacidad más alta o lo que es lo mismo una fuerza extensible mayor que las fibras naturales; resistencia UV excepcional comparado con otras fibras; índice de refracción bajo, lo cual genera intensos colores una vez teñidas las fibras de PLA; comparado con el PET y otros sintéticos, las fibras de PLA presentan bajo poder calorífico, por lo que generan menor cantidad de humos al quemarse y una extensión más rápida de la

humedad; recuperación de la humedad perceptiblemente más baja con ello se hace un hueco en los tejidos de secado rápido. Sin embargo, también existen puntos débiles (Ren, 2011), como son baja resistencia a compuestos alcalinos, causando pérdida de fuerza en los convencionales procesos de dispersión por teñido y resistencia a temperaturas de planchado bajas puesto que presenta una temperatura cristalinidad baja.

#### Envases desechables

Los establecimientos de comida rápida emplean una gran cantidad de productos desechables ya que suponen un bajo costo. Además, consiguen ahorrar el trabajo y los equipos empleados para el lavado de productos reutilizables y son perfectos para pedidos para llevar. Sin embargo, estos desechables se utilizan una sola vez y luego se desechan generando una gran cantidad de residuos nocivos no biodegradables que tardan en descomponerse cientos de años. La mejor solución contra este problema es desarrollar productos desechables hechos de materia prima renovable como el PLA.

#### Aplicaciones

El ácido láctico es un compuesto químico derivado de fuentes renovables como la industria azucarera. Su utilización está creciendo rápidamente en la producción de polímeros biodegradables, como el PLA, debido a su capacidad de descomposición que ayuda a reducir la contaminación. Además, su capacidad para ser absorbido por el organismo lo hace adecuado para múltiples aplicaciones.

El PLA es un material extremadamente versátil con diversas aplicaciones en diferentes industrias. Ha despertado un gran interés en sectores como la medicina, la industria textil y en envases y embalajes debido a sus excelentes propiedades y su capacidad para biodegradarse. Según la investigación disponible, el PLA tiene un futuro prometedor como una innovación que podría reemplazar a los plásticos derivados del petróleo en varios campos.

A pesar de las ventajas del PLA, como su biodegradabilidad, el material enfrenta desafíos como fragilidad, propiedades mecánicas deficientes, baja velocidad de cristalización y cristalinidad limitada. Estas limitaciones restringen severamente su aplicación en diversos contextos, especialmente en la producción de películas sopladas. Se están haciendo esfuerzos para mejorar estas propiedades, aunque se necesita más investigación para superar completamente estos obstáculos.

El ácido poliláctico es adecuado para productos de un solo uso como envases y botellas y ahora se está evaluando en otros sectores, como en la construcción de elementos como tragaluces, en donde aún hay desafíos significativos. Estos elementos pueden experimentar problemas como grietas y deterioro debido a su naturaleza biodegradable. Aunque se pueden aplicar antioxidantes para mitigar estos efectos, se requiere investigación adicional para mejorar su durabilidad y rendimiento en este sector específico.

A continuación se presenta la tabla 4, en donde se muestra el tipo de polímero, su permeabilidad, permeabilidad al oxígeno, las propiedades mecánicas y la biodegradabilidad.

**Tabla 4.**

*Características de polímeros*

<b>Polímero</b>	<b>Permeabilidad a la humedad</b>	<b>Permeabilidad al oxígeno</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Biodegradabilidad/ Desintegración</b>
<b>PHB</b>	<b>Medio</b>	<b>Medio</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>3-12 meses</b>
<b>PLA</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Satisfactorio</b>	<b>3-meses</b>
<b>PP</b>	Alto	Muy alto	Moderado	>500 años
<b>LDPE</b>	Bajo	Muy alto	Moderado	>150 años
<b>HDPE</b>	Medio	Medio	Satisfactorio	>150 años
<b>PET</b>	Medio	Medio	Satisfactorio	>300 años
<b>PS</b>	Alto	Muy alto	Moderado	>500 años

El ácido poliláctico (PLA) tiene el potencial para reemplazar materiales convencionales como el polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno de baja densidad (LDPE), el PET (tereftalato de polietileno) y el PS (poliestireno) en aplicaciones de embalaje debido a sus propiedades mecánicas adecuadas para este propósito. Sin embargo, los biopolímeros como el PLA presentan limitaciones como menor resistencia a la humedad, temperatura de descomposición térmica, fuego, rayos UV y resistencia biológica en comparación con los plásticos tradicionales. Se están investigando métodos para mejorar estas características, como el refuerzo con fibras naturales de origen animal o vegetal, como la seda, pluma de pollo, paja de arroz y yute, lo cual ha demostrado aumentar la elasticidad, estabilidad térmica, módulo de tracción y resistencia al impacto en diversas combinaciones.

A continuación se presenta la tabla 5, en donde se muestra el polímero, su densidad, fuerza y módulo de tensión, alargamiento y punto de fusión.

**Tabla 5.**

*Características de polímeros*

<b>Polímero</b>	<b>Densidad (<math>g/cm^3</math>)</b>	<b>Fuerza de tensión (MPa)</b>	<b>Módulo de tensión (MPa)</b>	<b>Alargamiento a la rotura (%)</b>	<b>Punto de fusión (°C)</b>
<b>PHB</b>	1.18-1.26	25-40	3500	5-8	168-182
<b>PLA</b>	1.21-1.25	48-60	3500	30-240	150-162
<b>PP</b>	0.9-1.16	30-40	1100- 1600	20-400	161-170
<b>LDPE</b>	0.94	8-20	300-500	100-1000	98-115
<b>HDPE</b>	0.97	10	177	700	110
<b>PET</b>	1.38	56	2800- 4100	30-300	262
<b>PS</b>	1.05	34-50	2300- 3300	1.2-2.5	70-115

Existe un creciente interés en sustituir productos derivados del petróleo con materiales naturales, económicos y renovables, lo cual ha impulsado la búsqueda de polímeros biodegradables para películas de empaque . Estos materiales tienen aplicaciones diversas, especialmente en envases y recipientes para alimentos, donde ofrecen ventajas ambientales significativas al reducir o reemplazar el uso de plásticos convencionales derivados de fuentes fósiles, mitigando así la contaminación.

#### **5.4. Beneficios ambientales**

Los plásticos biobasados, como el PLA, tienen la ventaja sobre los plásticos convencionales de reducir la dependencia de recursos fósiles, así como las emisiones de gas de efecto invernadero, o incluso ser neutrales en carbono. El aumento de la eficiencia de los recursos a través de un ciclo cerrado donde los materiales y productos provenientes se reutilizan o reciclan y finalmente se utilizan para la recuperación de la energía (Flores, 2019).

Sin embargo, no se pueden dejar de considerar las desventajas, entre las que se encuentran la ausencia de instalaciones de compostaje industrial para plásticos como modelo de negocio, los bioplásticos suelen ser más costosos y requieren tierras para cultivar las materias primas; aunque el uso de bioplásticos se ha incrementado, solo abarcan menos del 1% del mercado global de plásticos, adicional a que los plásticos compostables necesitan condiciones específicas para biodegradarse (Flores, 2019).



## CONCLUSIONES

Considerando el objetivo general de esta investigación, que fue describir las implicaciones ambientales derivadas de la utilización de empaques biodegradables para proteger productos abrasivos, mediante una revisión bibliográfica, se concluye después de una exhaustiva revisión de la literatura, que el objetivo se ha sido cumplido de manera satisfactoria. Se ha abordado en detalle las propiedades, aplicaciones y beneficios ambientales de los principales materiales biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxicanoatos (PHA) y el succinato de polibutileno (PBS). Además, se ha evaluado el impacto positivo de estos materiales en la reducción de la contaminación ambiental en comparación con los plásticos convencionales de un solo uso.

En cuanto a la hipótesis, que fue ¿la utilización de empaques biodegradables para proteger productos abrasivos está relacionada positivamente con el impacto ambiental producto de la generación de desechos sólidos de un solo uso en esta industria? Tras revisar las propiedades de los materiales biodegradables y sus aplicaciones en la industria de los abrasivos, se afirma afirmar que la hipótesis se sostiene. El uso de empaques biodegradables como el PLA reduce significativamente la cantidad de residuos sólidos de un solo uso, disminuyendo así el impacto ambiental asociado.

Así que de manera general se concluye, respecto a los materiales biodegradables revisados (PLA, PHA y PBS), lo siguiente:

El PLA (Ácido Poliláctico), fabricado a partir de recursos renovables como el almidón de maíz y la caña de azúcar, es biodegradable en instalaciones comerciales de compostaje. Sus propiedades incluyen alta rigidez, resistencia al calor, transparencia y una buena estabilidad térmica. Aunque presenta desafíos como la baja resistencia al impacto, es una opción viable

para empaques debido a su versatilidad y menor huella de carbono en comparación con los plásticos tradicionales.

El PHA (Polihidroxiclcanoato) es un biopolímero producido por bacterias a través de la fermentación de azúcares o lípidos. Es biodegradable y compostable, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en empaques y envases. Su capacidad de descomposición en condiciones naturales lo posiciona como una alternativa ecológica prometedora.

El PBS (Succinato de Polibutileno) se destaca por su flexibilidad y es usado a menudo en combinación con otros polímeros para mejorar sus propiedades. Su producción aún es limitada en comparación con PLA y PHA, pero su potencial de aplicación es significativo debido a su biodegradabilidad y capacidad de mejorar las propiedades de otros biopolímeros.

En cuanto al impacto ambiental de los plásticos tradicionales, se concluye que la producción mundial de plástico ha crecido exponencialmente desde la década de 1950, alcanzando 450 millones de toneladas métricas en 2021. De estos, el 46% se destina a empaques de corta vida útil, generando una considerable cantidad de residuos. En México, se generan más de 120,000 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales una gran parte no es recolectada ni reciclada, exacerbando la contaminación ambiental.

Respecto a los beneficios ambientales de los materiales biodegradables, se llega a la conclusión que los materiales biodegradables contribuyen significativamente a la disminución de residuos sólidos, ya que se descomponen de manera más rápida y segura que los plásticos tradicionales. Esto ayuda a reducir la acumulación de desechos en vertederos y la contaminación de ecosistemas marinos y terrestres. Y la producción y el uso de bioplásticos como el PLA y el PHA reducen la dependencia de recursos fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto es crucial en la lucha contra el cambio climático y en la promoción de prácticas industriales sostenibles.

En el estudio también se encontraron desafíos y limitaciones, como las propiedades mecánicas y económicas: aunque los bioplásticos presentan muchas ventajas, también

enfrentan desafíos significativos en términos de costos y propiedades mecánicas. La producción de PLA, por ejemplo, puede requerir grandes extensiones de tierras agrícolas, lo que podría generar conflictos de uso del suelo. Además, mejorar las propiedades mecánicas de los bioplásticos sigue siendo un área de investigación activa.

En cuanto a la infraestructura de compostaje, la falta de infraestructura adecuada para el compostaje industrial de bioplásticos limita su efectividad. Es crucial desarrollar sistemas de gestión de residuos que puedan procesar estos materiales de manera eficiente para maximizar sus beneficios ambientales.

Respecto a las implicaciones para la industria de abrasivos, que es el tema central del proyecto, la industria de abrasivos, que genera altos niveles de residuos sólidos, puede beneficiarse significativamente de la adopción de empaques biodegradables. El uso de materiales como el PLA puede reducir la cantidad de residuos enviados a los vertederos y mitigar el impacto ambiental de la industria.

Referente a la innovación y sostenibilidad, se concluye que la transición hacia empaques biodegradables requiere inversiones en investigación y desarrollo, así como en la modificación de procesos industriales. Sin embargo, esta transición también ofrece oportunidades para innovar y posicionarse como líderes en sostenibilidad dentro del sector.

En conclusión, la implementación de empaques biodegradables como el PLA en la industria de abrasivos no solo es una alternativa viable, sino también una necesidad urgente para reducir el impacto ambiental de los residuos sólidos. La adopción de estos materiales puede contribuir a un ciclo de vida más sostenible y a la mitigación de la contaminación ambiental, alineándose con las políticas de sostenibilidad y los objetivos de desarrollo económico y social. La investigación y el desarrollo continuos serán esenciales para superar las limitaciones actuales y maximizar el potencial de los bioplásticos en la industria.

## REFERENCIAS

Abdel Rahman, M.A. y Kenji Sonomoto, Y. T. (2013). Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. *Biotechnol Adv*, 31(6), 877-902.

Acenología (2024). Envases y embalajes para vino. Recuperado de [https://www.acenologia.com/ciencia77\\_1/](https://www.acenologia.com/ciencia77_1/)

Ad-Bio (2024). PHAs y PBS. Recuperado de <https://adbioplastics.com/id-aditivos-y-bioplasticos/>

Andrade, B.R., Rivera, M.A., Lora Guzmán, H. (2018). El empaque como oportunidad para el desarrollo del producto y el consumidor responsable; una mirada desde la industria en Norteamérica y Sudamérica. *Saber Ciencia y Libertad*. 13(1), 164-179.

Askeland, D., & Wright, W. (2015). *Ciencia e ingeniería de materiales (7a.ed)*. Biodegradable celulosa. (n.d.).

Aucejo, S., Herranz, N., Navarro, P. y Aguirre, R. (2006). Envases y embalajes en el sector del vino. *Acenología, revista de enología científica profesional*.

Alexander-Guancha, M., Realpe-Delgado, M.E. y García Celis, J. (2022). Obtención polihidroxicanoatos (PHA) a partir de la biomasa lignocelulósica: un estudio de revisión. *Informador Técnico*, 86(1), 111-135.

Auras, R. A., Lim, L. T., Selke, S. E., & Tsuji, H. (Eds.). (2011). *Poly (lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications (Vol. 10)*. John Wiley & Sons.

Betancourt, D.J. y Solano, J.K. (2016). Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes. *Revista Luna Azul*, 43(-), 22-23.

Boxoi (2024). Empaques. Recuperado de <https://boxor.mx/distribuidora-de-materiales-para-empaque/>

Brother (2024). Impresoras industriales y etiquetas. Recuperado de <https://www.brother.es/impresoras-etiquetas-y-recibos/impresoras-industriales-de-etiquetas>

Caicedo, C., De la Cruz Rodríguez, H., Crespo Delgado, L.M. y Álvarez Jaranillo, N.A. (2017). Propiedades termomecánicas del Polipropileno: efectos durante el procesamiento. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XVIII(3), 245-252.

Cardona, D., Lavernia, C.J. y Alcerro, J.C. (2010). Polietileno. *Acta Ortopédica Mexicana*, 24(2), 123-128.

Castonbox (2024). Materiales y maquinaria para embalaje. Recuperado de <https://www.embalatgescastonbox.com/es/como-fabrican-cajas-carton.aspx>

Case Media (2019). Cajas de madera: tipos de embalajes de madera y sus usos y ventajas. Recuperado de <https://casemedi.es/noticia?id=Cajas-de-madera-tipos-de-embalajes-de-madera-y-sus-usos-y-ventajas>

Castro, M. (2024). Tereftalato de polietileno (PET): procesamiento, reciclaje y futuro. Recuperado de [https://www.pt-mexico.com/articulos/tereftalato-de-polietileno-\(pet\)-procesamiento-reciclaje-y-futuro](https://www.pt-mexico.com/articulos/tereftalato-de-polietileno-(pet)-procesamiento-reciclaje-y-futuro)

Cenem (2024). Envase primario, secundario y terciario ¿en qué se diferencian? Recuperado de <https://cenem.cl/2022/04/21/envase-primario-secundario-y-terciario-en-que-se-diferencian/>

Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y. y Lin, Q. (2024). Applications of biodegradable materials in food packaging : A review. Alexandria Engineering Journal, 91(January), 70–83.

Creswell. H. (2005). Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative Research (2a. ed.). Upper Saddle River: Pearson Education Inc

Cyan Pack (2024). Qué es Pla. Recuperado de <https://www.cyanpak.com/es/news/something-you-need-to-know-about-pla-packaging/>

Dasgupta, S., Peng, X., Xu, H., Ta, K., Chen, S., Li, J., & Du, M. (2021). Deep seafloor plastics as the source and sink of organic pollutants in the northern South China Sea. Science of the Total Environment, 765.

Depositphotos (2024). Empaques de polietileno. Recuperado de <https://depositphotos.com/es/vectors/empaques-de-polietileno.html>

Diana, Z., Reilly, K., Karasik, R., Vegh, T., Wang, Y., Wong, Z., Dunn, L., Blasiak, R., Dunphy-Daly, M. M., Rittschof, D., Vermeer, D., Pickle, A., & Viridin, J. (2022). Voluntary commitments made by the world’s largest companies focus on recycling and packaging over other actions to address the plastics crisis. One Earth, 5(11), 1286–1306.

Ding, B., Zhan, X., Wei, B., Wang, X., Lu, W., Dai, J., Xu, S. y Zha, Q. (2024). Biodegradable polybutylene succinate: Purified method and oligomers investigation. Materialstoday Communications, 39(-), 1-19.

Diop, C. I. K., Lavoie, J. M., & Huneault, M. A. (2017). Separation and Reuse of Multilayer Food Packaging in Cellulose Reinforced Polyethylene Composites. *Waste and Biomass Valorization*, 8(1), 85–93.

Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J. K., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: relevance, challenges, and prospects. *Applied Food Research*, 3(2), 100356.

Economy, T. C. (2019). *The Circular Economy and Packaging : Challenges and Avenues for Reflection*. May 2018.

Ebnesajjad, S. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications*. s.l. : William Andrew, Elsevier, 2013.

El empaque (2024). ABC de la sostenibilidad en empaques (II). Recuperado de <https://www.elempaque.com/es/noticias/abc-de-la-sostenibilidad-en-empaques-ii>

Envolpaq (2024). Soluciones de empaque y embalaje. Recuperado de <https://www.envolpaqslp.com/>

Exactitude Consultancy (2023). Mercado de abrasivos por material (natural, sintético), tipo de producto (adherido, recubierto, súper), aplicación (automotriz, eléctrica y electrónica, fabricación de metales, maquinaria, otros) y por región, tendencias globales y pronóstico de 2022 a 2029. Recuperado de <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/17742/abrasives-market/>

European Bioplastics (2024). What are bioplastics? Recuperado de <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>

F.E.P.A (Federation of European Producers of Abrasive Products) *European safety code for the use of grinding wheels and bonded abrasive products*, General edition 1987.

Flores, L. (2019). Diferencias entre materiales biodegradables, compostables, bioplásticos, polímeros, bio-basados y cómo aportan a la sostenibilidad de la industria de los plásticos. Adiplast, Industria Comercio y Pymes e Intec.

Gauthier, M.A. y Klok, H.A. (2010). Polymer – protein conjugates: an enzymatic activity perspective. Royal Society of Chemistry, 1(-), 1352-1373.

Gómez Coca, c. (2015). Diseño y técnicas de packaging. Tesis de grado, Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/14034>

González García, Y., Meza Contreras, J.C., González Reynoso, O. y Cordova López, J.A. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 29(1), 77-115.

He, W. y Benson, R. (2013). Polymeric biomaterials. Handbook of biopolymers and biodegradable plastics. Sina Ebnesajjad:

Hernández Jiménez, L.G. (2019). Determinación mediante microabrasión del espesor y tasa de desgaste de recubrimientos delgados depositados sobre materiales metálicos. 3Cienicas: España.

Jeswani, H. K., Perry, M. R., Shaver, M. P., & Azapagic, A. (2023). Biodegradable and conventional plastic packaging: Comparison of life cycle environmental impacts of poly (mandelic acid) and polystyrene. Science of the Total Environment, 903(August), 166311.

Logística flexible (2024). Optimización del embalaje, el empaque también importa. Recuperado de <https://ld.com.mx/blog/logistica/optimizacion-del-embalaje-el-empaque-tambien-importa/>



Johnson, M. P., & Schaltegger, S. (2020). Entrepreneurship for Sustainable Development: A Review and Multilevel Causal Mechanism Framework. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 44(6), 1141–1173.

Licciardello, F. (2024). reuse. *Current Opinion in Food Science*, 56, 101131.

Mac Arthur Foundation (2024). Eliminar la contaminación por plástico. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/plasticos/vision-general>

Mahmud, M. Z. Al, Mobarak, M. H., & Hossain, N. (2024). Emerging trends in biomaterials for sustainable food packaging: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(1), e24122.

Mariano. Tecnología de los Plásticos: Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado: Poliácido láctico (PLA). 2011.

Marinescu, I., Hitchiner, M.P., Uhlmann, E., Rowe, W.B. y Inasaki, I. (2019). *Handbook of Machining with Grinding Wheels*. 2º edición. CRC Press: USA.

Master Abrasives (2020). Abrasives. Recuperado de <https://www.master-abrasives.co.uk/>

Meira, G. y Gugliotta, L. (2019). *Polímeros. Introducción a su caracterización y a la ingeniería de la polimerización*. Universidad Nacional del Litoral: Argentina.

Mejía Argueta, C., Soto Cardona, O.C., Gámez Albán, H.M. y Moreno Moreno, J.P. (2014). Análisis del tamaño del empaque en la cadena de valor para minimizar los costos logísticos: un caso de estudio en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 111-121.

Manterrosa Arrieta, D.M., Díaz Rubio, L.C. y Moreno Hernández, A.F. (2021). Los empaques biodegradables como un impedimento para los negocios verdes. Trabajo de

grado. Universidad Santo Tomás, Colombia, Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31472?show=full>

Montes Cabarcas, D. (2020). Introducción a la administración de las organizaciones – enfoque global. Pearson: México.

Natura Works (2024). Nature builds things from carbon dioxide, and so do we. Recuperado de <https://www.natureworksllc.com/>

Navia, D. P. y Villada, H.M. (2014). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. Revista Bio Agro, 11(2).

Newell, J. (2010). Ciencias de los Materiales. Alfaomega: México.

Norma ANSI B7.1 1998, American National Standard Safety requirements for the use, care and protection of abrasive wheels.

Novo Empaques (2024). Empaques clamshell para alimentos. Recuperado de <https://novoempaques.com/empaque-clamshell-para-alimentos/>

Ortega García, F.J. y Juárez, E. M. (2024). Polyethylene waste co-processing in fluid catalytic cracking plants, Cleaner Engineering and Technology, 19(-), 121-135.

Pérez Espinoza, C.K. (2012). Empaques y embalajes. Red Tercer Milenio: Ecuador.

Petcore Europe (s.f.). What is PET? Recuperado de <https://www.petcore-europe.org/what-is-pet.html>

Pettersen, M. K., Grøvlen, M. S., Evje, N., & Radusin, T. (2020). Recyclable mono materials for packaging of fresh chicken fillets: New design for recycling in circular economy. Packaging Technology and Science, 33(11), 485–498.

Plastic Ingenuity de México (2024). Empaque blíster termoformado. Recuperado de <https://plasticingenuity.mx/empaques/empaque-blister/>

Plastic Technology Mexico (2024). ¿Qué es el poliestireno (PS)? tipos y aplicaciones desglosadas. Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-del-poliestireno-ps>

Plastic Technology Mexico (2024). ¿Qué es el poliestireno (PS)? tipos y aplicaciones desglosadas. Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-del-poliestireno-ps>

Posada Barreto, E. (2022). Los bioplásticos como sustitutos de plásticos de un solo uso en Colombia. Tesis de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Ranpak (2024). Por industria, manufactura industrial, recuperado de <https://www.ranpak.com/essa/industry/industrial-manufacturing/>

Ren, J. (2011). Biodegradable Poly (Lactic Acid): Synthesis, modification, processing and applications. Springer Link: USA.

Rios Osorio, A. D., Alvarez-Lopéz, C., Cruz Riaño, L. J., & Restrepo-Osorio, A. (2017). Revisión: Fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos/Review: silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging. *Prospectiva*, 15(1), 7–15.

Rivera, C., Contreras, F., Ariza, W. y Bonilla, S. (2019). Los empaques biodegradables, una respuesta a la conciencia ambiental de los consumidores. *Realidad Empresarial*.

Rodríguez, C. M., & Martínez, P. (2013). Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos (empaques) en la Universidad El Bosque. *Producción + Limpia*, 8(1), 80–90.

Rudnik, E. (2013). Compostable polymer materials: definitions, structures, and methods of preparation. *Handbook of biopolymers and biodegradable plastics*. Science Direct: USA.

Rutren (2024). Productos y vasos compostables. Recuperado de <https://rutren.com/categoria-producto/biodegradables/vasos-y-envases-compostables/>

Salazar-sánchez, R., Cañas-montoya, J. A., & Villada-castillo, H. S. (2020). Biogenerated polymers : an enviromental alternative • Polímeros biogenerados : una alternativa medioambiental. 87(214), 75–84.

Sandin, M. P. (2003). Investigadon cualitativa en Educadon: Fundamentos y tradidones. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

SEGOB (1981). Norma Oficial Mexicana NOM-EE-11-S-1980. Envases y embalajes – Metales – Envases de hojalata cilíndricos sanitarios para contener alimentos. DOF: México.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación. 4ª edición. McGraw Hill: México.

Serrano Riaño, J.Y. (2010). Polihidroxicanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. Teoría y Praxis Investigativa, 5(2), 79-84.

Sin, L.T., Rahmat, A. R. y Rahmat, W.A.W.A. (2013). Applications of Poly (Lactic Acid). Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics. Science Direct: USA.

Singh, R., Gautam, S., Sharma, B., Jain, P., & Chauhan, K. D. (2021). Biopolymers and their classifications. In Biopolymers and their Industrial Applications. Elsevier Inc.

Tarique, J., Sapuan, S. M., Khalina, A., Sherwani, S. F. K., Yusuf, J., & Ilyas, R. A. (2021). Recent developments in sustainable arrowroot (*Maranta arundinacea* Linn) starch biopolymers, fibres, biopolymer composites and their potential industrial applications: A review. Journal of Materials Research and Technology, 13, 1191–1219.

Tasseron, P. F., Van Emmerik, Tim H.M., Virend, P., Hauk, R., Alberti, F., Mellink, Y. y Van del Ploeg, M. (2024). Defining plastic pollution hotspots. *Science of the Total Environment*. Review Paper.

Tecnoembalaje Colombia (2024). Envasado de alimentos: regulación de la FDA. Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/envasado-de-alimentos-regulaci%C3%B3n-la-fda-tecnoembalaje-colombia-fagse>

Thomé de Deus, B.C., Catarino Costa, T., Nascimento Altomari, L., Marques Brovini, E., Duque de Brito, P. S. y Cardoso, S. J. (2024). Coastal plastic pollution: A global perspective. *Marine Pollution Bulletin*, 203(-), 1-18.

Trading Films (2023). PBS. Recuperado de <https://www.tradingfilms.com/green-packaging/pbs/#:~:text=Derivado%20de%20material%20renovable%20y,en%20sus%20propiedades%20biol%C3%B3gicas%20dobles.&text=Utilizando%20tecnolog%C3%ADa%20avanzada%20es%20un%20pl%C3%A1stico%20biodegradable%20y%20de%20base%20biol%C3%B3gica>.

Vasir JK, Labhasetwar V. Nanopartículas biodegradables para la administración citosólica de productos terapéuticos. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 2007; 59 : 718–728. doi: 10.1016 / j.addr.2007.06.003.

Villada, H., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolymers natural used in biodegradable packaging. *Journal of the American Chemical Society*, 12(4), 5–13.

Vmingo (2024). Caja metal. Recuperado de <https://www.amazon.com.mx/Cajita-Met%C3%A1lica-Obsequio-Souvenir-Recuerdo/dp/B0B5M12XT9>

Wu, F., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2021). Challenges and new opportunities on barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Progress in Polymer Science*, 117, 101395.

Youssef, A. M., & El-Sayed, S. M. (2018). Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook. *Carbohydrate Polymers*, 193(March), 19–27.

Zambrano Castro, H. y Riera, M.A. (2021). Desafío de los polihidroxialcanoatos como solución al problema de los plásticos de un solo uso. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 15(1), 15-26.

Zuluaga, F. (2013). Algunas aplicaciones del ácido poli-L-láctico. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(142), 125-142.

Wu, F., Misra, M. y Mohanty, A.K. (2021). Challenges and new opportunities on barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Progress in Polymer Science*, 117(-), 258-269.