

Empaques biodegradables para productos abrasivos Biodegradable packaging for abrasive products

Juan Manuel Juárez Castillo

449802@uaeh.edu.mx

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Justo Fabián Montiel Hernández

justo_montiel@uaeh.edu.mx

ORCID 0000 – 0001 – 6890 - 6069

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

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 los empaques biodegradables en la protección de productos abrasivos mediante una revisión exhaustiva de la literatura científica, para destacar sus beneficios y las áreas que requieren mejoras para una adopción más amplia y efectiva en la industria.

Palabras clave: empaques biodegradables, abrasivos, PLA

ABSTRACT

The abrasives industrial sector faces a significant challenge due to the high generation of solid waste, especially derived 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 a growing interest in the adoption of biodegradable packaging as a more sustainable alternative. Biodegradable packaging, often made from renewable resources, offers the advantage of breaking down into harmless components after use, thus reducing the accumulation of waste. However, its implementation faces technical challenges, such as barrier and physical properties, as well as economic considerations compared to conventional plastics. The proposed research seeks to explore biodegradable packaging in the protection of abrasive products through a comprehensive review of the scientific literature, to highlight its benefits and areas requiring improvement for broader and more effective adoption in the industry.

Keywords: biodegradable packaging, abrasive, PLA.

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 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).

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).

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. Al considerar que los abrasivos se encuentran entre los productos que más se requieren en industrias como la construcción, automotriz, maderera, mueblera, aeroespacial, petrolera, metalmecánica 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).

METODOLOGÍA

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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 son 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 sinterizarse 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 solidifica 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 CO₂ y H₂O 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).

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, tres biopolímeros.

PLA

El Ácido Poliláctico (PLA) es un poliéster alifático termoplástico derivado del ácido láctico, conocido químicamente como ácido 2-hidroxipropanoico (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).

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 polihidroxialcanoatos (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 polihidroxialcanoatos (PHA) son biopoliésteres 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 polihidroxialcanoatos (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).

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).

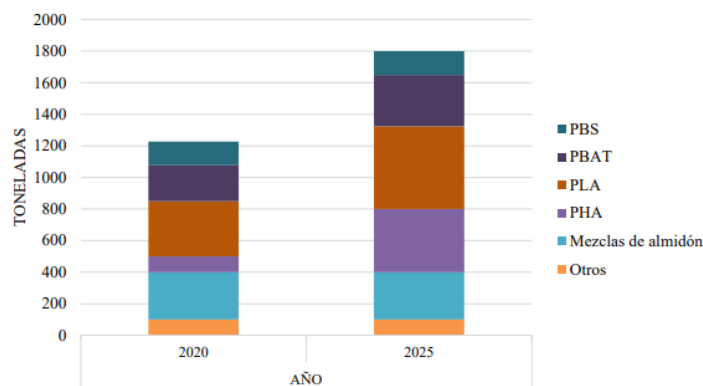
PLA, PHA y PBS

Los materiales biodegradables revisados: el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxialcanoatos (PHA) y el succinato de polibutileno (PBS), son materiales innovadores que ofrecen soluciones con funcionalidades completamente nuevas, como la biodegradación y la compostabilidad, con proyecciones a 2025 que se muestra en la figura 1.

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

Figura 1.

Producción global de bioplásticos 2020 - 2025



Nota: Bioplástico Europeo (2020).

Propuesta: PLA

De acuerdo a la revisión hecha de los empaques y embalajes convencionales y biodegradables, se encuentra que el material propuesto para la industrial 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 (PS), 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.

A continuación se presenta la tabla 1, en donde se muestra el tipo de polímero, su permeabilidad, permeabilidad al oxígeno, las propiedades mecánicas y la biodegradabilidad.

Tabla 1.
Características de polímeros

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

CONCLUSIONES

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.

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

- 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.
- 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.
- 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., & Virdin, 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.

- Economy, T. C. (2019). The Circular Economy and Packaging : Challenges and Avenues for Reflection. May 2018.
- He, W. y Benson, R. (2013). Polymeric biomaterials. Handbook of biopolymers and biodegradable plastics. Sina Ebnesajjad:
- 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.
- 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.
- Newell, J. (2010). Ciencias de los Materiales. Alfaomega: México.
- 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.
- 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.
- Singh, R., Gautam, S., Sharma, B., Jain, P., & Chauhan, K. D. (2021). Biopolymers and their classifications. In Biopolymers and their Industrial Applications. Elsevier Inc.
- 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.

