

ARK: <https://n2t.net/ark:/87558/tekhne.25.3.3>

Bioplásticos: Sustentabilidad Ambiental y Principales Tendencias

Gloria Aponte¹, Beatriz Soledad²

gapontef@ucab.edu.ve¹, bsoledad@ucab.edu.ve², bsoledad@unimet.edu.ve²

Universidad Católica Andrés Bello (UCAB)¹²

Universidad Metropolitana (UNIMET)²

Caracas, Venezuela

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar un análisis sobre el rol que tienen los materiales bioplásticos (biopolímeros) en materia de sustentabilidad ambiental y las principales tendencias a nivel mundial. Para ello se realizó un análisis de la literatura publicada tanto en artículos de revistas y congresos especializados y las solicitudes de patentes en el período 2011-2021; así como también fuentes de información en el área de mercado. Entre los principales resultados se encuentran: el impacto ambiental causado por la gran cantidad de materiales de desecho no degradables está impulsando la investigación para desarrollar nuevos materiales biodegradables que puedan fabricarse a partir de recursos naturales como biomasa, plantas y bacterias. Hay una intensa actividad de investigación y desarrollo en el área de bioplásticos a nivel mundial, así lo indican la evolución creciente que presentan las publicaciones y solicitudes de patentes en el área, así como las tendencias de mercado que cada vez van incursionando en nuevas áreas con aplicaciones novedosas desplazando así, poco a poco, a los plásticos convencionales.

Palabras clave: Bioplásticos; biopolímeros; sustentabilidad ambiental; tendencias.

Bioplastics: Environmental Sustainability and Main Trends

Abstract

The objective of this article is to present an analysis of the role of bioplastic materials (biopolymers) in terms of environmental sustainability and the main trends worldwide. For this, an analysis of the literature published both in articles from magazines and specialized congresses and patent applications in the period 2011-2021 was carried out; as well as sources of information in the market area. Among the main results are: the environmental impact caused by the large amount of non-degradable waste materials is driving research to develop new biodegradable materials that can be made from natural resources such as biomass, plants and bacteria. There is intense research and development activity in the area of bioplastics worldwide, as indicated by the growing evolution of publications and patent applications in the area, as well as market trends that are increasingly entering new areas with novel applications thus displacing, little by little, conventional plastics.

Keywords: Bioplastics; biopolymers; environmental sustainability; trends.

Bioplásticos: Sustentabilidad Ambiental e Principais Tendências

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar uma análise do papel dos materiais bioplásticos (biopolímeros) em termos de sustentabilidade ambiental e as principais tendências mundiais. Para isso, foi realizada uma análise da literatura publicada tanto em artigos de revistas e congressos especializados quanto em pedidos de patentes no período de 2011-2021; bem como fontes de informação na área de mercado. Entre os principais resultados estão: o impacto ambiental causado pela grande quantidade de resíduos não degradáveis está impulsionando pesquisas para desenvolver novos materiais biodegradáveis que possam ser produzidos a partir de recursos naturais como biomassa, plantas e bactérias. Existe uma intensa atividade de pesquisa e desenvolvimento na área de bioplásticos em todo o mundo, como indica a crescente evolução de publicações e pedidos de patentes na área, bem como tendências de mercado que estão cada vez mais entrando em novas áreas com novas aplicações deslocando assim, pouco a pouco pequenos plásticos convencionais.

Palavras-chave: Bioplásticos; biopolímeros; sustentabilidade ambiental; tendências.

i. INTRODUCCIÓN

La cantidad de desechos generados por la población mundial, ha tomado dimensiones dramáticas y está creando graves problemas climáticos y de salud. El plástico es una de las principales fuentes de esta contaminación con un volumen total de producción en 2020 de 367 millones de toneladas [1]. En las últimas décadas, el uso descontrolado de dichos materiales para fines como el embalaje, transporte, industria y agricultura, tanto en las áreas rurales como en las urbanas, ha planteado un grave problema para la eliminación de estos desechos, así como la contaminación que genera; como ejemplo, las bolsas plásticas tardan unos 1000 años en descomponerse. La quema de estos contaminantes también libera CO₂ y dioxinas, contribuyendo al calentamiento global. Se ha demostrado, que los métodos utilizados comúnmente para la eliminación de plásticos son inadecuados para una gestión eficaz de los desechos de los mismos, por ello se está en la búsqueda de microorganismos que sean eficientes para la biodegradación de polímeros sintéticos no degradables. Los polímeros biodegradables o bioplásticos son derivados de plantas y/o

microorganismos en lugar de combustibles fósiles [2]. Son materiales cuyas propiedades físicas y químicas se deterioran rápidamente cuando se exponen a los microorganismos debido a su capacidad para degradar, por completo, la mayor parte de los materiales orgánicos e inorgánicos, incluidos la lignina, el almidón, la celulosa y las hemicelulosas [3].

Como resultado de las crecientes preocupaciones ambientales, así como la presión legislativa para evitar que se arrojen plásticos no biodegradables en vertederos y, por otra parte, los rápidos aumentos en el costo del petróleo, se ha despertado un gran interés en el desarrollo de materiales “amigables con el medio ambiente”. Recientemente, los bioplásticos son uno de los materiales ecológicos desarrollados más innovadores. Shamsuddin, et al. [4]. proporcionan información sobre alternativas a los plásticos convencionales para mejorar el medio ambiente terrestre. Estos materiales tienen algunas ventajas como una menor huella de carbono, independencia, eficiencia energética y eco seguridad. Para la sostenibilidad, deben desarrollarse sistemas de reciclaje así como tecnologías de producción para los bioplásticos y

sus subproductos. El uso de dichos materiales ayudará en la sostenibilidad y el desarrollo, haciendo que el medio ambiente esté menos cargado por los gases de efecto invernadero y de la biomasa residual, ya que ésta será empleada para la fabricación de estos materiales. Tomando en consideración la relevancia del tema ambiental y el rol que puedan tener los bioplásticos en ese aspecto, se realizó este trabajo donde se expone la importancia de los mismos en materia de sustentabilidad ambiental y algunas de las principales tendencias a nivel mundial relacionadas con esta materia.

ii. METODOLOGÍA

Para realizar este artículo se utilizó la técnica de la revisión bibliográfica para recolectar la información relevante relacionada con los materiales bioplásticos publicada en el periodo 2001-2021 en la base de datos Lens.org y el universo de información se acotó a los artículos publicados en revistas arbitradas, y a los campos de búsqueda: Resumen, Título, Palabras Clave y Campo de Estudio. Para el caso de los documentos de patentes se acotó a las solicitudes de patentes publicadas en dicho período y a los campos de búsqueda; Título, Resumen y

Reivindicaciones. Una vez obtenido el universo de información relevante se eliminaron los duplicados y se procedió a realizar el análisis de la información utilizando la técnica de análisis de contenido. Para el caso de las tendencias se utilizó la herramienta "Analysis" de la base de datos Lens que permite procesar la información tomando en cuenta los parámetros que se requieren en función de la tendencia que se desea analizar. Finalmente, una vez obtenidos los datos para el periodo de estudio se procedió al procesamiento y análisis de los mismos mediante la técnica de Análisis Bibliométrico. Así mismo se utilizaron fuentes de información especializadas en el área como es el caso de *European Bioplastics Organization* y la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) con la finalidad de complementar el análisis de las tendencias.

iii. BIOPLÁSTICOS: TIPOS, CARACTERÍSTICAS Y USOS

Los bioplásticos son productos que tienen propiedades y aplicaciones muy variadas y se obtienen de diferentes materias primas y procesos de manufactura [2]; en la Figura 1 se presentan las diferentes fuentes a partir de las cuales se pueden obtener los plásticos biodegradables.

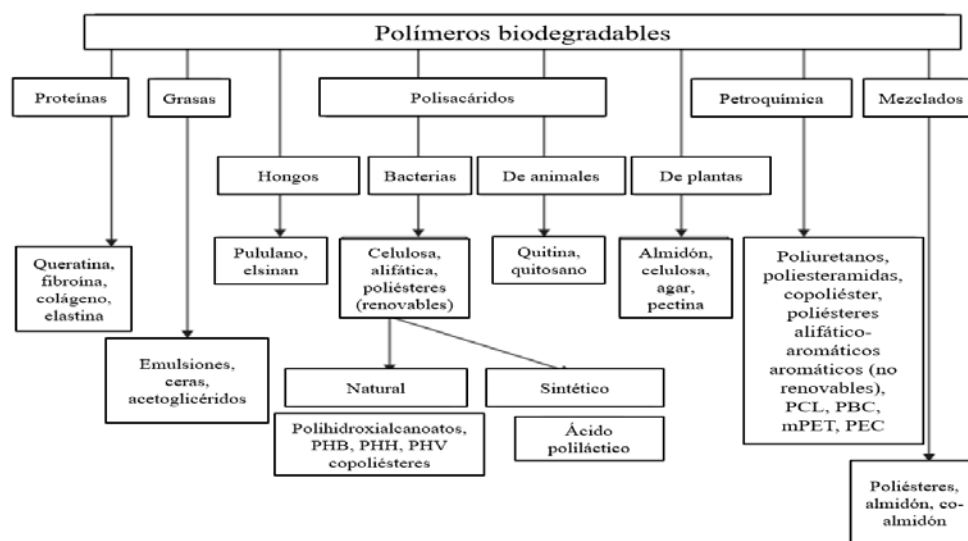


FIGURA 1. Recursos para la obtención de polímeros biodegradables.

Figura 1. PCL: Policaprolactona; PET: Polibutilentereftalato; PHB: ácido polihidroxibutírico; PHH: Polihidroxihexanoato PHV: polihidroxivalerato. Fuente: [5]

Existen diferentes tipos de bioplásticos; Vikhareva et al [5], señalan que se distinguen tres grupos principales:

- a) Plásticos de base biológica o parcialmente biodegradables, como polietileno (PE), polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno de base biológica (PET).
- b) Plásticos biobasados y biodegradables como: Ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA); succinato de polibutileno (PBS).
- c) Plásticos derivados de recursos fósiles y biodegradables, por ejemplo, adipato-tereftalato de polibutileno (PBAT)

En la tabla siguiente se presentan los principales biopolímeros y algunas de sus características.

En relación a la biodegradabilidad de los polímeros, es muy importante que todos los aditivos también sean biodegradables y no tóxicos. Por lo tanto, los estándares en el caso de los polímeros compostables requieren probar no solo los polímeros en sí, sino también todos los aditivos en el producto final para excluir su efecto negativo en el compost [5]. La biodegradabilidad de los polímeros no depende de la base de recursos del material, sino que está determinada por el tamaño de la molécula, la estructura química y la presencia y naturaleza de los grupos laterales, así como por la micro y macroestructura supramolecular. El aumento de la biodegradación se ve facilitado por la presencia de grupos en la cadena del polímero que se hidrolizan fácilmente, la presencia de sustituyentes, un aumento en el grado de sustitución de la cadena y la longitud de sus

secciones entre los grupos funcionales y una mayor flexibilidad de las macromoléculas [5].

Roopesh y Arhana [6] señalan que, para el uso de los biopolímeros en aplicaciones médicas, estos materiales no deben causar reacciones inmunitarias graves cuando se introducen en los tejidos blandos o en la sangre de un organismo huésped. Incluso estos materiales no deberían provocar respuestas inmunitarias durante la degradación en el cuerpo. Es importante destacar que los productos degradados con PHA no son tóxicos por naturaleza. La biodegradabilidad sin toxicidad hace que los PHA sean atractivos como biomateriales para aplicaciones tanto en dispositivos médicos convencionales como en ingeniería de tejidos. La biocompatibilidad mecánica del PHA también se puede cambiar mediante una mezcla inerte, la combinación de PHA con otros polímeros y materiales inorgánicos o la modificación de la superficie hacen posible una gama más amplia de aplicaciones. Las características de la matriz polimérica, como la velocidad de liberación controlada, la degradación, el hinchamiento y la resistencia, se pueden controlar con precisión mediante la combinación apropiada de material adecuado.

Los bioplásticos se utilizan cada vez más en diferentes sectores de mercados, desde envases, productos para *catering*, electrónica de consumo, automotriz, agricultura/horticultura y juguetes, revestimiento y adhesivos y fibras hasta textiles y varios otros segmentos; en la Figura 2, se observa que la aplicación con mayor segmento de mercado es la de empaque con un 48% del mercado global. Sin embargo, la cartera de aplicaciones continúa diversificándose. Los segmentos, como el automotriz y el transporte o la edificación y la construcción, siguen en alza con capacidades crecientes de polímeros funcionales [7].

Tabla I. Principales tipos de biopolímeros

	Polímero	Característica	Tiempo de degradación
No biodegradable	Polietileno	Transparente, plástico, dieléctrico, resistente a los golpes, baja permeabilidad al gas y al vapor, fisiológicamente neutro, se ablanda cuando se calienta (80–120°C), inodoro.	100-200 Años
	Poliétilen tereftalato	Amorfa, dieléctrica, resistente a los golpes, no resistente a la radiación UV.	150 años
	Poliamida [-NH-(CH ₂) ₆ -NH-CO-(CH ₂) ₈ -CO-]	Duradera, resistente al calor, resistente a productos químicos, resistente a la abrasión	100 años
	Polipropileno	Alta resistencia, baja densidad, resistencia a golpes y dobleces repetidos, alta resistencia química, baja permeabilidad al gas y al vapor	Por lo menos 500 años
	Politrimetilenterftalato	Cristal, duradera, resistente al desgaste	Por lo menos 100 años
Biodegradable	Adipato-tereftalato de polibutileno	Duradero, duro, sólido, resistente a la fluencia, buen dieléctrico, vulnerable a la radiación UV	Menos de seis meses
	Succinato de polibutileno	Alta resistencia, baja densidad, resistencia al impacto y múltiples pliegues, excelente aislamiento eléctrico, alta resistencia química	Cinco meses
	Ácido poliláctico	Biológicamente seguro, no tóxico, insoluble en alcoholes y agua	Tres meses
	Polihidroxialcanoatos	Son resistentes a la acción del agua caliente, al mismo tiempo que se descomponen rápidamente en condiciones naturales.	Seis meses

Fuente: Adaptado de [5]

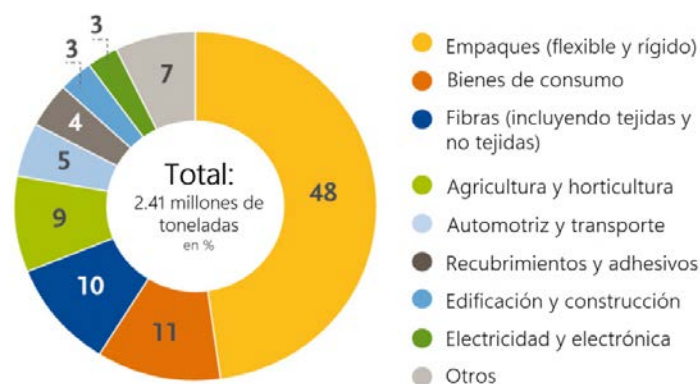


Figura 2. Capacidad de producción global de bioplásticos por segmento de mercado

Fuente: [7].

iv. SUSTENTABILIDAD DE LOS BIOPLÁSTICOS

Tal como se ha mencionado el plástico es uno de los principales materiales contaminantes del medio ambiente ya que no son biodegradables, y son difíciles de reciclar [8]. Por lo tanto, una de las opciones, para ayudar a disminuir la contaminación ambiental, es desarrollar una alternativa para cambiar el uso del plástico convencional. En ese sentido, las actividades de investigación y desarrollo en torno a los bioplásticos tienen un valioso potencial ya que una variedad de problemas ambientales podrían resolverse mediante el uso de estos materiales que inicialmente se podían obtener a partir de recursos agrícolas tradicionales y renovables como el maíz, la yuca y el frijol, denominados bioplásticos de primera generación; sin embargo las investigaciones han evolucionado hacia la segunda generación que utilizan renovables no alimentarios que incluyen la hierba varilla, el aserrín, el cáñamo y los subproductos obtenidos del procesamiento de la fuentes de primera generación como cáscaras, y diferentes tipos de residuos de plantas [9].

Por otra parte, los bioplásticos presentan mejores propiedades en comparación con el plástico convencional, tales como: mecánicas y térmicas, permeabilidad al oxígeno, barrera de gas, y tasa de transmisión de vapor de agua, así como también, facilidad de moldeo; todo ello hace que estos materiales sean una buena alternativa en comparación con los plásticos convencionales [10].

Además, también tienen características únicas ya que son biodegradables, ecológicos, energéticamente eficientes y compostables [4]. Asimismo, el uso de dichos materiales ayudaría a reducir el espacio para el almacenamiento de desechos, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el riesgo de contaminación marina y la salud humana [11]. En la Tabla 2 se muestra un resumen de las

principales ventajas y desventajas que presentan los bioplásticos.

Sin embargo, la producción de bioplásticos como una alternativa sostenible con respecto a los plásticos convencionales requiere, todavía, por parte de la comunidad científica, realizar esfuerzos de investigación y desarrollo para vencer algunos desafíos, como, por ejemplo: mejorar los procesos de producción con la finalidad de no perturbar las fuentes potenciales de alimentos. Algunos de estos materiales, en particular, aquellos que se modifican a partir del polímero del ácido poliláctico, solo son biodegradables en ciertas condiciones de temperatura y humedad, por lo que esta restricción debe eliminarse para garantizar que puedan degradarse en cualquier condición al ser descartados en los vertederos [12].

En ese sentido han surgido los denominados bioplásticos de segunda generación, los cuales deben fabricarse mediante formas de procesamiento como extrusión, compresión y moldeo por inyección. Los posibles problemas ambientales y el impacto de dichos materiales aún no se han investigado ni comprendido completamente. Por lo tanto, se necesitan más estudios para superar las fuentes limitadas disponibles, aumentar la eficiencia de los recursos y reducir los problemas ambientales [12]. En este aspecto el uso de fibras agrícolas representa una buena oportunidad para lograr la biodegradación requerida, sin embargo, es necesario mejorar el rendimiento en los compuestos de fibra natural y los compuestos verdes con la finalidad de proporcionar más aplicaciones por parte de la industria [13].

Tabla II. Potenciales ventajas y desventajas relacionadas con el uso de los Bioplásticos

Ventajas	Desventajas
<p>Reducir la dependencia de los combustibles fósiles mediante el uso de recursos renovables, reemplazando plásticos existentes con contrapartes de base biológica (p. ej., plásticos de uso inmediato)</p> <p>Beneficios ambientales potenciales en términos de reducción del calentamiento global</p> <p>El uso de plásticos compostables, en aplicaciones donde se prevé contaminación orgánica, simplifica la gestión de residuos y la devolución del carbono al suelo como compost</p> <p>La digestión anaerobia de plásticos biodegradables puede producir grandes cantidades de energía y contribuir a lograr una relación óptima de carbono a nitrógeno en el proceso</p> <p>Los plásticos biodegradables podrían reemplazar los plásticos no degradables en los productos que es probable que se filtren en el medio ambiente, mitigando potencialmente la contaminación plástica</p>	<p>Altos costos de producción y posiblemente menor rendimiento que los plásticos convencionales.</p> <p>Falta de procesabilidad con tecnologías comunes o falta de conocimientos técnicos</p> <p>Un pequeño volumen de mercado no justifica grandes inversiones ni rediseño de marcos de producción e infraestructura de gestión de residuos.</p> <p>Posible competencia de materia prima con la industria alimentaria y de biocombustibles</p> <p>Riesgo de ensuciamiento de los flujos de reciclaje con plásticos biodegradables</p> <p>Riesgo de vertedero de plásticos biodegradables que produzcan emisiones de gases de efecto invernadero</p> <p>Falta de infraestructura y logística de compostaje y reciclaje dedicadas</p> <p>Incertidumbre con respecto a la biodegradabilidad en diferentes ambientes abiertos</p>

Fuente: [13].

Otro aspecto importante a tener presente con respecto a la sustentabilidad de los bioplásticos y productos biobasados es el ciclo de vida del material, con la finalidad de incrementar su sustentabilidad, ya que la mayoría de estos compuestos se degradan lentamente en condiciones ambientales, incluso cuando se utilizan microorganismos; lo que hace necesario establecer estrategias que permitan gestionar estos materiales hasta el final de su ciclo de vida. En ese sentido, algunas de las estrategias más para reutilizar los desechos de los bioplásticos y productos biobasados, es el reciclaje y más

particularmente el reciclaje mecánico ya que permite reducir las emisiones, la huella de carbono y el consumo de materias primas. El reciclaje mecánico de plásticos implica la recuperación de desechos plásticos a través de procesos mecánicos (separación, trituración, lavado, secado, regranulación y composición) para producir materiales reciclados que se pueden convertir en nuevos productos. A diferencia del reciclaje orgánico y químico, el reciclaje mecánico tiene como objetivo reutilizar los plásticos a nivel físico del material y no a nivel de transformación química [14]. Sin embargo, el reciclaje mecánico de los

residuos de envases de plástico posconsumo es un desafío. Estos residuos son recogidos por separado por los municipios o recuperados mecánicamente de los residuos sólidos municipales. Los concentrados de plásticos recolectados y recuperados se clasifican posteriormente en varios "productos clasificados".

Estos productos clasificados incluyen: película plástica, HDPE, PP, PET y plásticos mixtos. Las empresas de reciclaje mecánico convierten estos productos clasificados en reciclados mediante procesos como el lavado, la separación por densidad (separación por flotación) y la composición. Estos materiales reciclados se utilizan en una amplia variedad de productos que incluyen madera plástica, tuberías, muebles de jardín y tarimas [14].

Otro tipo de reciclado que se utiliza es el reciclado químico o reciclado terciario que permite transformar los residuos en productos químicos útiles, tales como monómeros y oligómeros que se pueden reutilizar para producir polímeros. En este tipo de reciclaje, se encuentra la pirólisis que es uno de los métodos más prometedores para los residuos plásticos que son difíciles reciclarse mecánicamente o despolimerizarse. Se puede llevar a cabo a temperaturas considerablemente más bajas que la incineración y no requieren tantos pasos de pre-tratamiento como el reciclaje mecánico. También se encuentra la solvonólisis que se refiere a la técnica de despolimerización parcial o total que involucra un solvente, algunas veces aplicado con calor. En esta categoría también se encuentra el reciclado enzimático o microbiano, que consiste en la despolimerización microbiana o enzimática y es una de las técnicas más nuevas y prometedoras que mediante la acción de las enzimas y microorganismos degradan a los bioplásticos de una manera selectiva y controlada y así recuperar los monómeros y otros productos químicos de valor agregado. Otra técnica que se utiliza es la biodegradación o recuperación orgánica, mediante la cual se someten los residuos de los bioplásticos a tratamientos biológicos, cuya biodegradación se puede realizar de manera aeróbica (en presencia de oxígeno) o anaeróbica (en ausencia de oxígeno). El compostaje es una de estas técnicas,

la cual se realiza mediante conversión aeróbica biológica controlada de los desechos para producir dióxido de carbono, agua, carbón, minerales, biomasa y humus, que es muy útil para el crecimiento de las plantas [15].

Por otra parte, la contribución con la sustentabilidad de los plásticos biodegradables también requiere de una mayor comunicación entre la sociedad y el tejido empresarial para lograr que la nueva tecnología y la legitimidad de las empresas que fabrican, comercializan y fomentan la tecnología sostenible sean asimiladas y puesta en práctica, adecuadamente, por la sociedad [16].

Es importante resaltar que la industria de los bioplásticos es aún muy pequeña en volumen y relativamente nueva, en comparación a la industria del plástico convencional, por lo que aún existen una variedad de desafíos relacionados con la adopción de estos materiales. Entre los desafíos más relevantes se encuentran los siguientes:

1. Falta de estudios comparables sobre la evaluación del ciclo de vida: El uso de diferentes enfoques y metodologías, así como de diferentes unidades de referencia y fuentes de datos, dificulta fuertemente la comparabilidad de este tipo de estudios.
2. Aspectos relacionados con normas y reglamentos: asociado con la producción de estándares para definir y evaluar la compostabilidad y la biodegradabilidad para lo que en los últimos diez años, se han realizado muchos esfuerzos en esta materia. Si bien las normas sobre compostaje industrial pueden reproducir las condiciones de diseño de estas instalaciones, las normas de biodegradación en condiciones menos controladas o no controladas necesitan más desarrollo; esto particularmente en el caso de los entornos naturales [9].
3. Uso de la tierra y el agua: Una preocupación que se ha expresado es la posible competencia entre la producción de materias primas para la bioindustria y la producción agrícola. A este respecto la European Bioplastics (2020) indica que, en un futuro previsible, la producción de bioplásticos

representará menos del 0,02% del uso del área agrícola mundial y, por lo tanto, no compite con la producción de alimentos. Por otro lado, un informe de Greenpeace señaló que es importante considerar dónde está situada la disponibilidad de la tierra y si está concentrada en pocas regiones; ello con la finalidad de conocer con mayor certeza como podría impactar la producción de dichos materiales en el uso de la tierra. Además, la producción de bioplásticos requiere un uso considerable de agua dulce; por ejemplo, el cultivo de maíz destinado a la producción de ácido poliláctico [17].

4. Aspectos relacionados con el sistema de disposición de desechos: los plásticos biodegradables están diseñados para descomponerse por completo debido a la acción microbiana; pero también son susceptibles a fenómenos de degradación como la hidrólisis y la degradación térmica, que generalmente juegan un papel importante en la tasa de biodegradación. En ese sentido, la contaminación de plásticos biodegradables en corrientes de reciclaje de plásticos comunes sería perjudicial para las propiedades de los reciclados. La separación y clasificación de este flujo adicional también puede ser complejo y costoso [18]. Por lo tanto, con un aumento en el uso de plásticos biodegradables, se requerirá una reorganización en el marco de reciclaje, así como informar a los consumidores sobre la forma correcta de desechar dichos productos.

Otro aspecto es que la adopción de plásticos biobasados, posiblemente, podría conllevar riesgos (uso de fertilizantes, riesgos sociales, etc.) así como también presenta sus ventajas; sin embargo, lo que parece seguro es que ofrece una alternativa a la producción de plásticos basada en combustibles fósiles y, por lo tanto, podría convertirse en una necesidad en el futuro. Los plásticos biodegradables o compostables pueden generar problemas si no se separan de los flujos de reciclaje; en ese sentido,

los materiales deben estar diseñados para garantizar una degradación efectiva sin causar problemas tecnológicos mientras conservan sus propiedades mecánicas durante la fase de "uso". El uso de plásticos biodegradables para mitigar la contaminación ambiental por fugas en ambientes abiertos es otra ventaja que también es motivo de discusión en la comunidad científica, ya que las condiciones en ambientes naturales son dinámicas, y cambian mucho dentro de las regiones geográficas y las estaciones; además, el tamaño y la densidad de los desechos plásticos, así como la aglomeración con otros materiales, pueden influir en el resultado.

v. PRINCIPALES TENDENCIAS DE LOS BIOPLÁSTICOS

El interés, cada vez mayor, hacia los bioplásticos que muestra la comunidad científica a nivel mundial se ve reflejado en las actividades de investigación y desarrollo que se han venido realizando; ello se demuestra en la evolución de las publicaciones en cuanto a artículos y solicitudes de patentes, la cual presenta una tendencia creciente sostenida durante en las últimas dos décadas (ver Figura 3). Estados Unidos y China lideran las publicaciones en el área (ver Figura 4); mientras que, a nivel de instituciones, la Academia de Ciencias de China y Rusia son las que presentan mayor cantidad de artículos publicados.

Al desglosar cómo se ha distribuido el esfuerzo de investigación y desarrollo con respecto al tipo de plásticos biodegradables, se observa que el material con mayor cantidad de solicitudes de patentes está concentrado en aquel que contiene ácido poliláctico (ver Figura 5). Esta tendencia también se ve reflejada en el mercado ya que este bioplástico tiene el mayor segmento de mercado con un 18,7% a nivel mundial [7]. Dicho material es el más utilizado en el sector de empaques flexibles y rígidos, así como en bienes de consumos y en la fabricación de textiles.

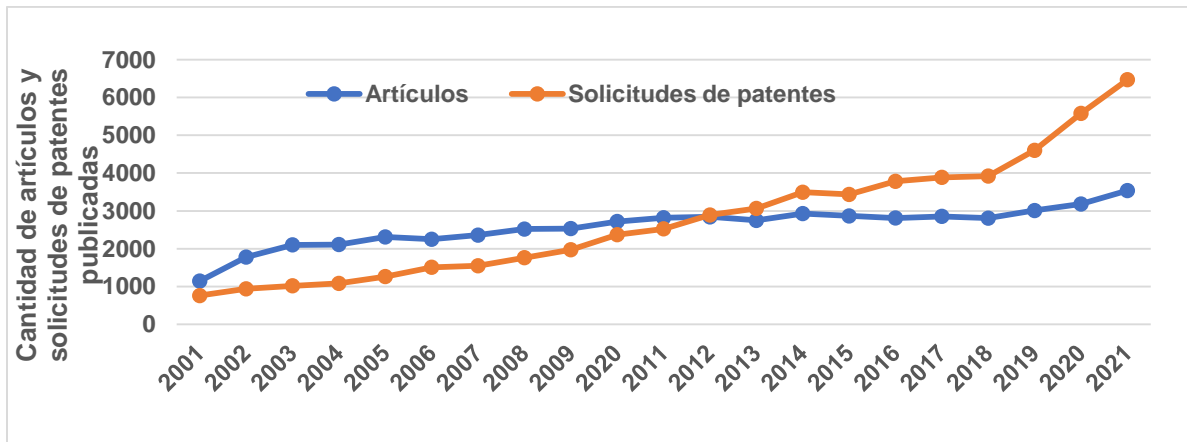


Figura 3. Evolución de las publicaciones y solicitudes de patentes sobre bioplásticos a nivel mundial
Fuente: Elaborado utilizando los datos extraídos de la base de datos Lens.org [19].

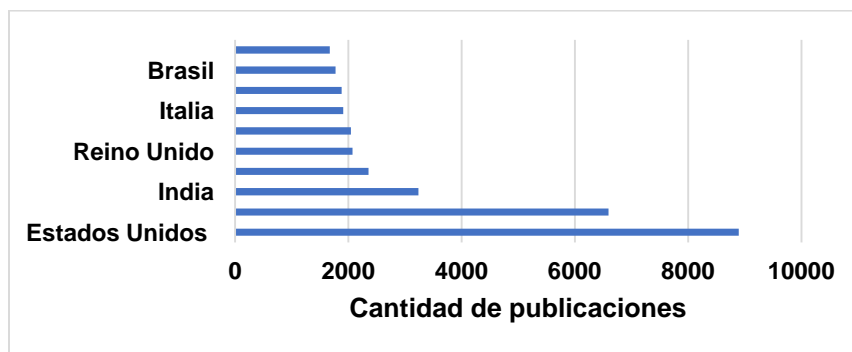


Figura 4. Principales países con mayor cantidad de publicaciones bioplásticos a nivel mundial
Fuente: Elaborado utilizando los datos extraídos de la base de datos Lens.org [19].

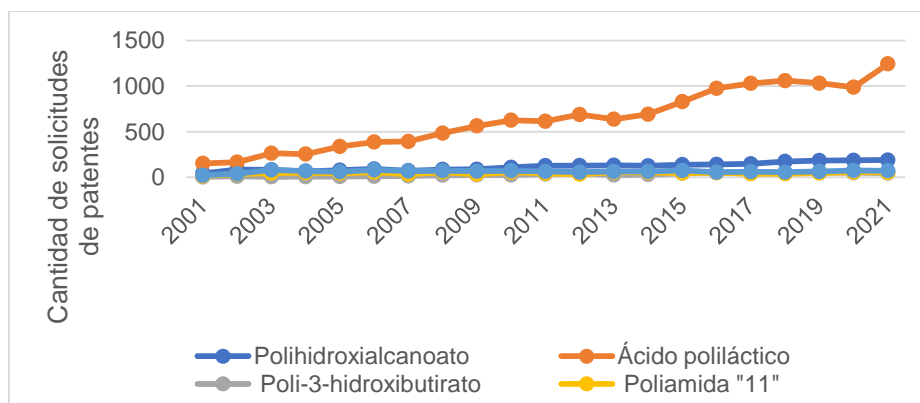


Figura 5. Solicitudes de patentes a nivel mundial por tipo de bioplástico.
Fuente: Elaborada por las autoras utilizando la base de datos Lens.org [19].

En relación al esfuerzo con respecto al desarrollo de tecnologías, Estados Unidos se presenta como el líder en el área con la mayor

cantidad de solicitudes de patentes en el período de estudio, seguido de China; por otra parte, es importante resaltar que el 25% de las solicitudes de

patentes corresponden a solicitudes internacionales (WIPO) (ver Figura 6), lo que es un

indicador de la importancia de las tecnologías protegidas que pudieran tener en el mercado.

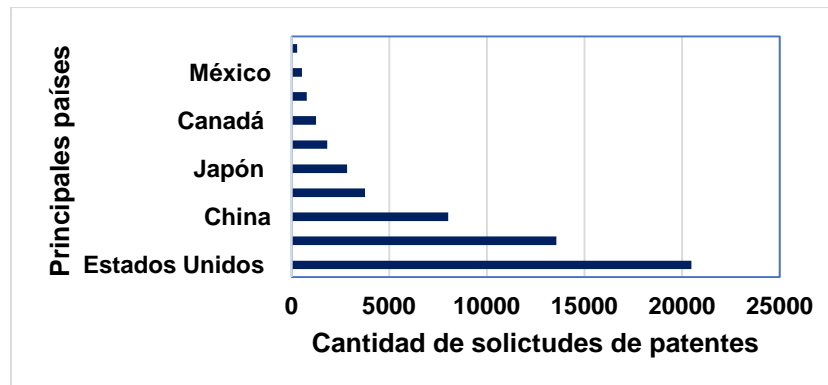


Figura 6. Principales países con mayor cantidad de solicitudes de patentes a nivel mundial
Fuente: Elaborada por las autoras utilizando los datos obtenidos de la base de datos Lens.org [19].

Este interés en los bioplásticos también se observa en un crecimiento constante del mercado debido a una demanda creciente combinada con la aparición de nuevas aplicaciones y productos cada vez más sofisticados (ver Figura 7). Según las últimas proyecciones realizadas por European Bioplastics Organization [7], la capacidad de producción mundial de dichos materiales aumentará de alrededor de 2,42 millones de toneladas en 2021 hasta aproximadamente 7,59 millones de toneladas en 2026. Señalan Arikian et al [20], en la actualidad, alrededor del 50% se ha producido actualmente en países asiáticos. Los países europeos son el segundo centro de producción de dichos materiales con sólo un 20% de cuota de mercado. Sin embargo, todas estas predicciones dependen de la adaptación y desarrollo de tecnologías de producción a escala industrial. Aunque los países en desarrollo tienden a adoptar los métodos tradicionales de producción de bioplásticos actualmente en uso, las tecnologías innovadoras dirigen las industrias de con un enfoque competitivo.

Por otra parte, los países industrializados han venido diseñando e implementando políticas ambientales que favorecen la producción de bioplásticos o productos biobasados. En el caso de China ha

adoptado políticas que promueven el uso de la economía circular con la finalidad de reducir el daño ambiental que ha causado el proceso de industrialización del país y convertirse en una sociedad orientada a la innovación y ser líder mundial en ciencia y tecnología para el año 2050 [21]. Con respecto a Estados Unidos, sus acciones están dirigidas a reducir la dependencia del petróleo, aumentar la compra y el uso de productos biobasados con la finalidad de impulsar el desarrollo económico aumentando el uso de recursos renovables. Por otra parte, las políticas implementadas por Alemania son el producto del trabajo conjunto de diferentes organismos pertenecientes a los sectores académicos, industrial, de investigación, así como de los entes gubernamentales, con el objetivo de posicionar al país en materia de energías renovables, bioeconomía y bioplásticos, entre otros aspectos.

Para Japón, el objetivo principal de las medidas adoptadas en esta materia es promover la utilización de la biomasa, reducir el consumo de recursos fósiles y mitigar el calentamiento global mediante el uso de la biotecnología. La puesta en práctica de estas medidas ha llevado a empresas como Toyota y Nippon Denki Kabushiki-gaisha (NEC) a acelerar sus niveles de investigación y desarrollo en plásticos biobasados y así

aumentar el contenido de base biológica de sus productos. España ha centrado sus medidas en función de establecer canales multilaterales de comunicación estable, eficientes entre los diferentes actores del sistema ciencia-tecnología-empresa para fomentar la innovación biotecnológica, la transferencia de tecnología con beneficios tangibles a la sociedad [21]. Por su parte, Malasia aspira a hacer de la biotecnología y la bioeconomía sus motores de crecimiento económico para utilizar la abundancia de recursos naturales y la biodiversidad. El sector público juega un papel integral en el desarrollo del sector, y existen varios incentivos para que el sector privado participe activamente y forje la colaboración con el sector público. En el caso de Italia, las redes en la industria italiana de bioplásticos son densas y altamente inclusivas, aunque están

formadas principalmente por empresas. La única política gubernamental italiana en materia de bioplásticos es prohibir la distribución de bolsas de plástico tradicionales, permitiendo sólo la comercialización de bolsas biodegradables de un solo uso y reutilizables de larga duración. Han conformado un *cluster* con los sectores más innovadores del país y uno de ellos está enfocado en la química verde y tiene la responsabilidad de desarrollar la agenda estratégica de Investigación y Desarrollo y el plan de acción de implementación sobre una bioeconomía para Italia [21]. En la Tabla 3 se presentan algunas de las políticas que han sido adoptadas por ciertos países industrializados en el transcurso de los últimos años.

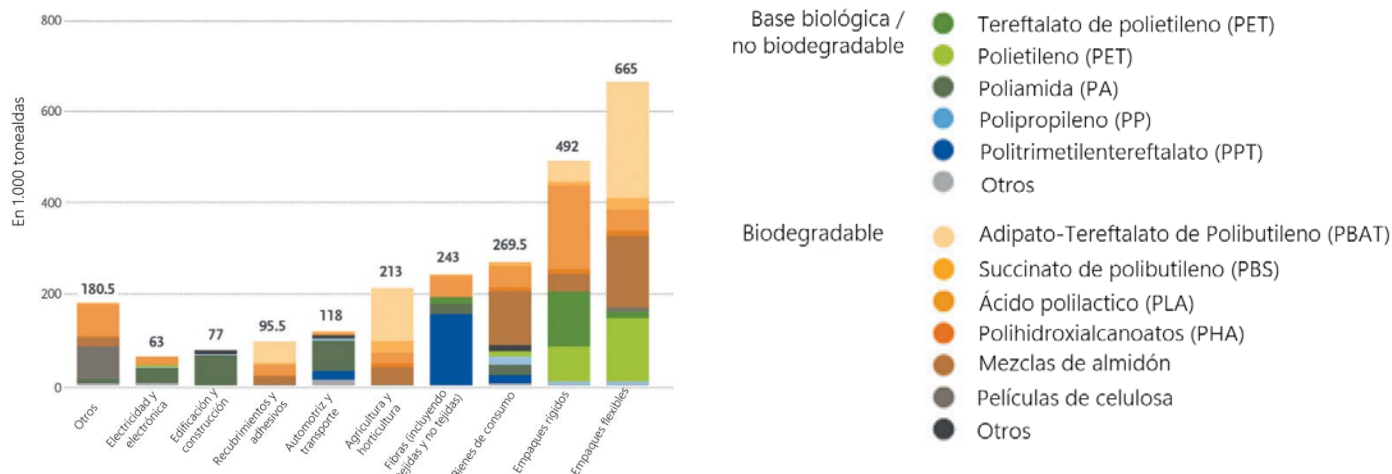


Figura 7. Capacidad de producción global de los bioplásticos por segmento de mercado

Fuente: [2]

En el caso de los países latinoamericanos, existen algunas alternativas puntuales con respecto a reducir el consumo y uso de plásticos convencionales; en ese sentido se ha utilizado almidón o proteína de plantas como la caña de

azúcar para generar los materiales básicos de hidrocarburos necesarios para crear bioplásticos. Sin embargo, su producción es más costosa, por lo que por ahora los proyectos no son económicamente rentables [22].

Tabla III. Políticas que fomentan el uso y desarrollo de bioplásticos o productos biobasados

País	Política adoptada/año	Referencia
China	Cleaner Production Promotion Law (2002); Environmental Information Disclosure Decree (2008); Law on Promoting Circular Economy (2009); Plan de Desarrollo Sustentable (2002); Plan para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (2006)	[23], [24],
Estados Unidos	BioPreferred Program (2002); The National Bioeconomy Blueprint (2012)	[25], [26]
Alemania	Clusters BioIndustrie 2021; Bioeconomy Research and Technology Council; National Research Strategy Bioeconomy 2030: Our Route towards a Biobased Economy	[27,28], [29]
Japón	Biotechnology Strategic Scheme (2002); The Biomass Nippon Strategy (2002); Science and Technology Basic Plan	[30]
España	The Spanish Technological Biomass Platform (2007); Platform of Biotechnological Markets (2010); National Food and Agriculture and Forestry Innovation and Research Program (2015)	[31], [32]
India	First National Biotechnology Development Strategy (2007); The National Biotechnology Development Strategy-2015–2020	[33]
Malasia	National Biotechnology Policy 2005; National Bioeconomy Programme; Bioeconomy Transformation Program	[34], [35]
Italia	Processes and Resources for Innovation and National Growth (SPRING)	[36], [37]
Indonesia	Grand Strategy of Agricultural Development 2015–2045	[38].
Tailandia	National Roadmap for the Development of Bioplastics Industry (2008)	[39]
Canadá	The Canadian Blueprint: Beyond Moose and Mountains (2008)	[40].

Fuente: Elaborado por las autoras.

vi. CONCLUSIONES

El impacto ambiental causado por la gran cantidad de materiales de desecho no degradables está impulsando la investigación para desarrollar nuevos materiales biodegradables que puedan fabricarse a partir de recursos naturales como biomasa, plantas y bacterias. Los nuevos desarrollos de bioplásticos en el futuro pueden causar que se incremente la eficiencia en la producción, se desarrollen nuevas aplicaciones y existan nuevas oportunidades para los dichos materiales. Además, la biotecnología de microorganismos brinda una oportunidad para la

fabricación de los mismos porque podría aplicarse y comercializarse significativamente para diversas industrias, como la agrícola, médica, farmacéutica, veterinaria, etc.

Los bioplásticos producidos a partir de materiales biobasados y materiales biodegradables tienen un gran potencial de ser compostables. El desarrollo reciente de tecnología, la innovación continua y el apoyo global son importantes para comercializar y demostrar dichos materiales. Sin embargo, los plásticos biodegradables deben basarse en un sistema integrado respetuoso con el medio ambiente para aumentar la sostenibilidad de los materiales y procesos a lo largo de su vida útil.

Las principales tendencias indican que hay una intensa actividad de investigación y desarrollo en el campo de los bioplásticos tal como lo evidencian la evolución de las publicaciones y las solicitudes de patentes nivel mundial en el periodo 2001-2021, cuya tendencia es creciente y sostenida. Asimismo, los países con mayor cantidad de publicaciones son Estados Unidos y China; mientras que, a nivel de instituciones, la Academia de Ciencias de China y Rusia son las que presentan la mayor cantidad de artículos publicados. En relación al esfuerzo con respecto al desarrollo de tecnologías, Estados Unidos se presenta como el líder en el área con la mayor cantidad de solicitudes de patentes en el período de estudio, seguido de China; por otra parte, es importante resaltar que el 25% de las solicitudes de patentes corresponden a solicitudes internacionales lo que es un indicador de la importancia de las tecnologías protegidas que pudieran tener en el mercado. Por otra parte, el bioplástico que presenta la mayor cantidad de publicaciones en el período estudiado es el ácido poliláctico; esta tendencia también ve reflejada en el mercado ya que este producto tiene el mayor segmento de mercado con un 18,7% a nivel mundial.

Con respecto al mercado, presenta un crecimiento constante debido a una demanda creciente aunada a la aparición de nuevas aplicaciones y productos cada vez más sofisticados. Las últimas proyecciones indican que la capacidad de producción mundial de bioplásticos aumentará de alrededor de 2,42 millones de toneladas en 2021 hasta aproximadamente 7,59 millones de toneladas en 2026. Estos materiales se utilizan cada vez más en diferentes sectores de mercados, desde envases, productos para *catering*, electrónica de consumo, automotriz, agricultura/horticultura y juguetes hasta textiles y varios otros segmentos. El empaque sigue siendo el segmento de mercado más grande con el 48% (1,15 millones de toneladas) del mercado total de bioplásticos en 2021. Sin embargo, la cartera de aplicaciones continúa diversificándose; los segmentos, como el automotriz y el transporte o la

edificación y la construcción, siguen en alza con capacidades crecientes de polímeros funcionales.

En materia de políticas que puedan fomentar la producción y el uso de bioplásticos, los países industrializados han venido diseñando y puesto en práctica algunas estrategias y políticas ambientales que favorecen la producción y uso de dichos materiales; sin embargo aún se encuentran en etapas tempranas de su implementación y requiere de un mayor esfuerzo por parte de los gobiernos, empresas y comunidades para implementar las mejoras respectivas de acuerdo con los resultados que van obteniendo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tiseo, I. (2022). Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020. Recuperado de: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- [2] Selvamurugan, M. and Sivakumar, P. (2019). Bioplastics – An Eco-Friendly Alternative to Petrochemical Plastics. Recuperado de: <https://www.cwejournal.org/vol14no1/bioplastics--ndash--an-eco-friendly-alternative-to-petrochemical-plastics>
- [3] Kale, S., Deshmukh, A., Dudhare, M., y Patil, V. (2015) Microbial degradation of plastic: a review. J Biochem Tech 6(1): 952-961
- [4] Shamsuddin, I. M., Jafar, J. A., Shawai, A. S. A., Yusuf, S., Lateefah, M., Aminu I. (2017). Bioplastics as Better Alternative to Petroplastics and Their Role in National Sustainability: A Review. Advances in Bioscience and Bioengineering. 5 (4), 63–70. Recupérate de: <https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=216&doi=10.11648/j.abb.20170504.13>
- [5] Vikhareva, I., Buylova, E., Yarmuhametova, G., Aminova, G., and Mazitova, (2021) An Overview of the Main Trends in the Creation of Biodegradable Polymer Materials. Journal of Chemistry Volume 2021, Article ID 5099705, 15 pag <https://doi.org/10.1155/2021/5099705>
- [6] Roopesh, J., and Arhana, T. (2014) Bioplastics for use in medical industry. Asian Journal of Pharmaceutics;

Mandsaur (Apr-Jun 2014): 139-140. DOI:10.4103/0973-8398.134981

[7] European Bioplastics Organization (2021). Bioplastics market development update 2021. Recuperado de: <https://www.european-bioplastics.org/market/>

[8] Pradhan, S. (2014). Optimization and Characterization of Bioplastic Produced by *Bacillus Cereus* SE1. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/80147099.pdf>;

[9] Di Bartolo, A.; Infurna, G. and Tzankova, N. (2021). A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy. *Economy* 74. <https://doi.org/10.3390/polym13081229>

[10] Pandey, A., Kumar, P., Singh, V. (2013). Application of Bioplastics in Bulk Packaging : A Revolutionary. University of Science & Technology, Hisar, Haryana, India. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.06.003

[11] Comaniță, E. D., Ghinea, C., Hlihor, R. M., Simion, I. M., Smaranda, C., Favier, L., Roșca, M., Gostin, I., Gavrilesco, M. (2015). Challenges and opportunities in green plastics: An assessment using the electre decision-aid method. *Environmental Engineering and Management Journal*. 14 (3), 689–702. Recuperado de: http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol14/no3/25_967_Comanita_14.pdf.

[12] Zulkafli, N. (2014). Production of Bioplastic from Agricultural Waste. Recuperado de: <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/9204/1/cd8512.pdf>

[13] Misra, M., Nagarajan V., Reddy, J., Mohanty, A. K. (2009). Bioplastics and Green Composites from Renewable Resources: Where We are and Future Directions!. *International Conference on Composite Materials*. 1–5. Recuperado de: [http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM18proceedings/data/2.%20Oral%20Presentation/Aug23\(Tuesday\)/T03%20Composit e%20Materials%20from%20Biorenewable%20Resources/T3-6-AF1961.pdf](http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM18proceedings/data/2.%20Oral%20Presentation/Aug23(Tuesday)/T03%20Composit e%20Materials%20from%20Biorenewable%20Resources/T3-6-AF1961.pdf)

[14] Van den Oever, M.; Molenveld, K.; Van der Zee, M.; Bos, H. Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures. Recuperado de: DOI <http://dx.doi.org/10.18174/408350>.

[15] Rosenboom, J-E.; Langer, R.; Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>

[16] Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 13, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>

[17] Korol, J.; Hejna, A.; Burchart-Korol, D.; Chmielnicki, B.; Wypiór, K. Water footprint assessment of selected polymers, polymer blends, composites, and biocomposites for industrial application. *Polymers* 2019, 11, 1791

[18] Samper, M.D.; Bertomeu, D.; Arrieta, M.P.; Ferri, J.M.; López-Martínez, J. Interference of biodegradable plastics in the polypropylene recycling process. *Materials* 2018, 11, 1886. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/10/1886>

[19] Lens.org (2022). Explore Science, Technology/Innovation. Recuperado de: <https://www.lens.org/lens/search/patent/structured>

[20] Arıkan, B., Bouchareb, E., Bouchareb, E., Yağcı, R., Dizge, N. (2021). Innovative Technologies Adopted for the Production of Bioplastics at Industrial Level. In: Kuddus, M., Roohi (eds) *Bioplastics for Sustainable Development*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1823-9_3

[21] Garrido, R.; Cabeza, L.; Falguera, V. (2021). An Overview of Bioplastic Research on Its Relation to National Policies. *An Overview of Bioplastic Research on Its Relation to National Policies*. Sustainability 13, 7848. <https://doi.org/10.3390/su13147848>

[22] CEPAL (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe. Oportunidad para una recuperación transformadora. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47309/1/S2100423_es.pdf

[23] Mol, A.; Liu, Y. (2005). Institutionalising cleaner production in China: The Cleaner Production Promotion Law. *International Journal of Environment and Sustainable Development*. 2005, 4, 227. DOI: 10.1504/IJESD.2005.007739

- [24] Mol, A.P.J.; He, G.; Zhang, L (2011). Information Disclosure in Environmental Risk Management: Developments in China. *Journal of Current Chinese Affairs* 2011, 40, 163–192. Recuperado de: <https://d-nb.info/1024415708/34>
- [25] USDA (2002). WHAT IS THE BIOPREFERRED PROGRAM?. Recuperado de: <https://www.biopREFERRED.gov/BioPreferred/faces/pages/AboutBioPreferred.xhtml#>
- [26] The White House. (2012). NATIONAL BIOECONOMY BLUEPRINT. Recuperado de: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/mi75_crosites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf
- [27] Hüttel, R.F. Bio-economy Innovation. Bio-economy Council Report 2010. Recuperado de: <https://renewable-carbon.eu/news/wp-content/uploads/news-images/20110614-09/bio-economy-innovation-report-2010.pdf>
- [28] Hüttel, R.F. (2012). Internationalisation of Bio-Economy Research in Germany. Recuperado de: https://www.fona.de/medien/pdf/Research_for_a_biobased_economy.pdf
- [29] Federal Ministry of Education and Research (2011). National Research Strategy BioEconomy 2030 Our Route towards a Biobased Economy. Recuperado de: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/national-research-strategy-bioeconomy-2030_en
- [30] Taniguchi, R. (2018). Resource Mobilization by “Strange Bedfellows”: A Case Study of Biomass Nippon Strategy. In *Proceedings of the 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. Honolulu, HI, USA, 19–23 August 2018; IEEE: New York, NY, USA, 2018; pp. 1–9.
- [31] European Environment Agency (2011). Annex 10—Spain country case study, European Environment Agency, Copenhagen. Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/publications/blossom/annex-10-2014-spain-country>
- [32] Lainez, M.; González, J.M.; Aguilar, A.; Vela, C. (2018). Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. *New Biotechnology*. 40, 87–95.
- [33] Ministry of Science and Technology (2007). National Biotechnology Development Strategy. Recuperado de: <http://dbtindia.gov.in/about-us/strategy-nbds>
- [34] Kamal, N. (2015). Bioeconomy Transformation Programme. Annual Report 2015. Recuperado de: http://www.bioeconomycorporation.my/wp-content/uploads/2011/11/publications/BTP_AR_2015.pdf
- [35] Arujanan, M.; Singaram, M. (2018). The biotechnology and bioeconomy landscape in Malaysia. *New Biotechnology*. 40, 52–59. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.004>
- [36] Imbert, E.; Ladu, L.; Tani, A.; Morone, P. (2019). The transition towards a bio-based economy: A comparative study based on social network analysis. *Journal of Environmental Management*. 230, 255–265.
- [37] European Cluster Collaboration Platform. Italian Circular Bioeconomy Cluster European Cluster Collaboration Platform 2012. Recuperado de: <https://clustercollaboration.eu/content/spring-italian-circular-bioeconomy-cluster>
- [38] Gumartini, T. (2008). Bioenergy Development in Indonesia. Recuperado de: <https://edepot.wur.nl/121056>
- [39] National Innovation Agency. National Innovation Agency (NIA) as Thailand’s Bioplastics Focal Point 2012. Recuperado de: <https://www.unescap.org/sites/default/files/43.%20CS-Thailand-Bioplastics-Companies.pdf>
- [40] Birch, K. (2016). Emergent Imaginaries and Fragmented Policy Frameworks in the Canadian Bio-Economy. *Sustainability*. 8, 1007. <https://doi.org/10.3390/su8101007>