

BIOEMPAQUES: EL FUTURO DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

BIO-BASED PACKAGING: THE FUTURE OF FOOD INDUSTRY

Claudia Cáceres-Munguía y María José Caracheo-Espinosa

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Biológicas

Licenciatura en Biotecnología

claudia_270997@hotmail.com

majo.11@hotmail.com

RESUMEN

En los últimos años, se ha generado un creciente interés por el desarrollo de polímeros a partir de materiales biodegradables para reducir la dependencia y la producción de materiales sintéticos no degradables que representan un problema ambiental debido a la generación de desechos. Además, se busca añadir propiedades activas en los sistemas de envasado de alimentos como propiedades antimicrobianas, prevención de humedad, captadores o emisores de dióxido de carbono y oxígeno, entre otros. El objetivo de esta revisión es proporcionar información acerca de la función, el desarrollo, el uso futuro en términos estadísticos y las aplicaciones de las investigaciones y la producción actuales de los biopolímeros como bioempaques.

Palabras clave: Bioempaques, biopolímeros, medio ambiente, industria alimentaria, sustentabilidad

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing interest in developing polymers based on biodegradable materials to reduce dependence on and production of non-degradable synthetic materials that are a major environmental problem due to waste production. Furthermore, active properties are sought to be added to food packaging systems such as antimicrobial properties, moisture prevention, oxygen and carbon dioxide barriers, and so on. The purpose of this review is to provide the reader with information about the function, development, future use from a statistical point of view, and applications of current research and production of biopolymers as bio-based packages.

Keywords: Bio-based packages, biopolymers, environment, food industry, sustainability

INTRODUCCIÓN

Los plásticos o polímeros han sido una de las invenciones más importantes en la historia de la humanidad, especialmente al fungir como empaques por su capacidad de prolongar la vida útil de los alimentos; sin embargo, la manufactura y el uso excesivo de estos materiales ha resultado ser un problema ambiental debido a la generación de desechos (Philp, Ritchie y Guy, 2013). En general, la producción mundial de polímeros ha

aumentado de 0.1814 a 0.5896 billones de kilogramos de 2006 a 2013 (Ítalo *et al.*, 2017), creciendo al menos 5% al año, lo cual representa una sobreexplotación de materias primas como el petróleo que, debido a su importancia en la economía, tiene un alto impacto en el mercado del plástico (Siracusa, Rocculi, Romani y Rosa, 2008). Además, sólo 3% de estos plásticos generados se pueden reciclar, ya que a menudo éstos son contaminados por material alimenticio o sustancias biológicas (Trinetta, 2016),

dejando aproximadamente 10.4 millones de toneladas de desechos anuales (Song, Murphy, Narayan y Davies, 2009). Por esta razón, ha sido necesario llevar a cabo iniciativas para desarrollar plásticos a partir de materiales reciclables o recursos renovables como estrategia para atender estos problemas ambientales (Peelman *et al.*, 2013). Una de las alternativas es la producción de bioplásticos, la cual ha aumentado de 260 a 1500 millones de toneladas entre 2007 y 2011 (Markarian, 2008). Hablando específicamente de la producción de bioplásticos con base en celulosa, ésta ha aumentado a 75 billones de toneladas al año (Ferrer, Pal y Hubbe, 2017), haciendo evidente la importancia económica y ambiental de estos materiales. Por consiguiente, el desarrollo de tecnologías nuevas ha aumentado exponencialmente en los campos de investigación científica sobre éstos materiales (Dudefoi, Villares, Peyron, Moreau, Ropers, Gontard, 2017). Los bioplásticos o biopolímeros, además de contribuir a la reducción de desechos y compuestos

contaminantes (Trinetta, 2016), incluyen beneficios que brindan condiciones fisicoquímicas adecuadas a los alimentos para mantener su calidad y seguridad (Rhim, Park y Ha, 2013) por medio de un empaque activo (Majid, Ahmad, Mohammad y Nanda, 2016). Sin embargo, aunque la demanda por producir polímeros de origen biológico está en aumento, todavía existen inconvenientes como los altos costos de producción y procesamiento y la búsqueda de materiales que ofrezcan mayor rendimiento en comparación con los plásticos convencionales (DeGruson, 2016). Los bioplásticos aún deben luchar por tener participación en el mercado, pues según cálculos, estos polímeros constituyen menos del 0.5% del consumo mundial de plásticos (Iles y Martin, 2013).

Antecedentes

Durante los tiempos nómadas de la historia humana, las personas cazaban y recolectaban lo necesario para su sobrevivencia sin tener en cuenta el almacenaje de sus alimentos. Esto cambió cuando las primeras

civilizaciones humanas se asentaron, creando así herramientas nuevas para la caza y la alimentación y haciendo necesario almacenar y contener sus alimentos (Trinetta, 2016).

Se han encontrado evidencias cerámicas y de vidrio que demuestran el uso de materiales para el almacenaje de alimentos que se remontan al año 3000 a. C. y a la época egipcia antigua, así como métodos para sellar contenedores con cera de abeja y brea en tiempos de los romanos y corcho en tiempos de la Grecia antigua. Con el paso del tiempo se han realizado mejoras en la fabricación de ciertos materiales para el empaquetado, como el metal, la cerámica y el vidrio, además de tratamientos para asegurar la inocuidad de los alimentos. Un ejemplo de esto es Durand, quien lideró la industria de conservas a principios del siglo XIX, y Pasteur, quien observó que las bacterias afectaban a los alimentos acelerando su deterioro. Posteriormente, en el siglo XX se desarrollaron técnicas más sofisticadas para crear vacío en alimentos cerrados

en metal o vidrio que fuesen más rígidos y flexibles y se introdujeron materiales como el cloruro de polivinilo y el nylon usados como películas. Finalmente, los mejores avances tecnológicos llegaron a finales del siglo XX, como el procesamiento y el envasado aséptico, los contenedores flexibles y reutilizables, los absorbentes de gas, los materiales resistentes a microondas, los envases con cierre a prueba de manipulación que permiten el transporte a largas distancias, manteniendo sus propiedades nutritivas al momento del consumo (Trinetta, 2016).

Problema ambiental

El uso y la producción de empaques plásticos han aumentado en las últimas décadas con un crecimiento exponencial anual de 5%. Los plásticos tienen ventajas ante otros empaques debido a su disponibilidad, bajo costo y cualidades requeridas para el envasado de alimentos; sin embargo, los plásticos se producen principalmente a partir de petróleo, así que la durabilidad y explotación de esta materia prima

implica problemas ambientales relacionados con el cambio climático y la contaminación de suelos (Kishna, Niesten, Negro y Hekkert, 2017). Es importante mencionar que los materiales de empaque de plástico no siempre se pueden reciclar porque a menudo se contaminan con material alimenticio o sustancias biológicas. Por consiguiente, menos de 3% de las 500 mil millones de bolsas de plástico que se distribuyen en el mercado cada año se reciclan. Además, la mayoría de los materiales de empaque hechos de

plástico se desechan en vertederos, lo que aumenta la presión sobre los sistemas de eliminación de residuos municipales. Por lo anterior, hay apremio de generar soluciones más respetuosas con el medio ambiente, como los productos biodegradables que son materiales degradables por la acción enzimática de bacterias, levaduras y hongos. También pueden ser usados como composta cuando actúan como fertilizantes y acondicionadores del suelo (Trinetta, 2016).

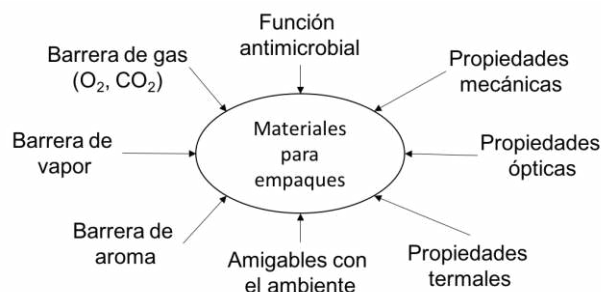


Figura 1. Propiedades y funciones que deben cumplir los materiales para empaques según las necesidades del producto y el ambiente al que se expongan (Rhim, Park y Ha, 2013). Consultada el 10 de noviembre de 2017.

BIOPOLÍMEROS

¿Qué es un biopolímero?

Un biopolímero es un compuesto orgánico de peso molecular variado, conformado por unidades

repetitivas conocidas como monómeros (Elmore, Mcgary, Wisecaver y Slot, 2015). Su desarrollo difiere de los sintéticos ya que están hechos de materiales biológicos,

debido a que al menos un paso en el proceso de degradación ocurre por el metabolismo de organismos vivos, pero son menos estables que la mayoría de los materiales sintéticos (Cuq, Gontard, Cuq y Guilbert, 1996). Es decir, bajo las

condiciones adecuadas de humedad, temperatura y disponibilidad de oxígeno, conduce a la desintegración de los plásticos, evitando la producción de toxinas dañinas para el ambiente (DeGruson, 2016).

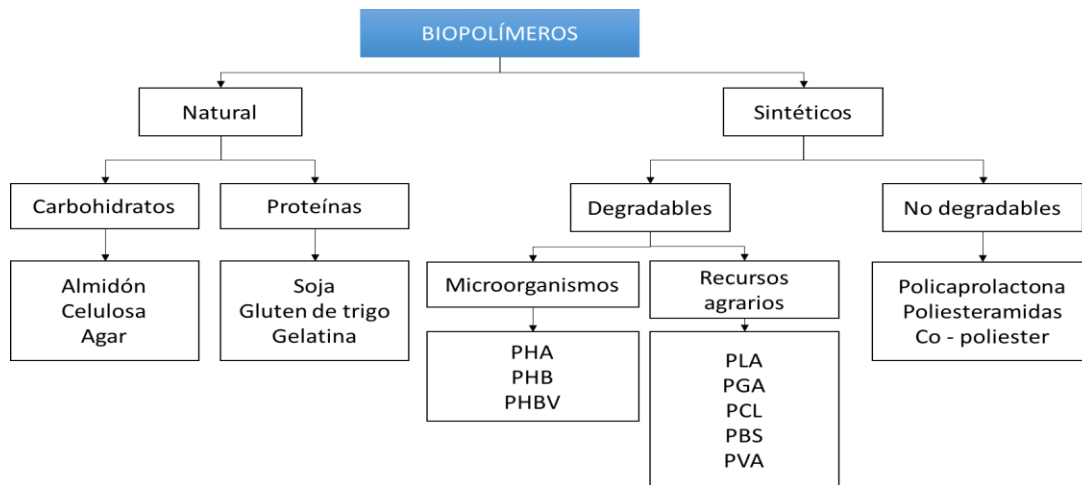


Figura 2. Según el material utilizado para la manufactura de los biopolímeros, estos se pueden clasificar por el origen de las materias primas como carbohidratos vegetales (almidón, celulosa, agar, alginato, etc.) y proteínas de origen animal o vegetal (soja, gluten de trigo, gelatina, etc.); por el origen sintético biodegradable proveniente de recursos agrarios como el ácido poli-L-láctico (PLA), el ácido poliglicólico (PGA), la policaprolactona (PCL), el polibutileno succinato (PBS), el polialcohol vinílico (PVA), etc.; por la fermentación microbiana como los poliésteres microbianos y los polihidroxialcanoatos (PHA), incluyendo el polihidroxitirato (PHB), el polihidroxitirato-co-hidroxitirato (PHBV), etc.; y por el origen sintético no degradable que se obtiene a partir de productos petroquímicos como las policaprolactonas, las poliésteramidas, etc. (Rhim, Park y Ha, 2013). Consultada el 6 de noviembre de 2017.

Además, los biopolímeros pueden ser producto de una mezcla de componentes sintéticos que se estudian en el campo de investigación del envasado de alimentos, ya que no sólo sus propiedades biodegradables son importantes, sino también lo son su

mecánica y sus propiedades de barrera debido a la interacción que puede haber entre diferentes alimentos y el entorno, produciendo cambios que afectan la inocuidad (Trinetta, 2016).

Estos biopolímeros representan una de las principales fuentes de

materiales renovables en ámbitos relacionados con los alimentos (Dudefoi, Villares, Peyron, Moreau, Ropers y Gontard, 2017).

Ácido poliláctico (PLA)

Este polímero pertenece a la familia de poliésteres termoplásticos biodegradables fabricados a partir de recursos renovables y se considera uno de los polímeros más prometedores para sustituir materiales como el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE), el poliestireno (PS) y el tereftalato de polietileno (PET). Para fabricar este polímero, se convierten almidones como el maíz u otras fuentes de carbohidratos en dextrosa y se fermentan en ácido láctico. Así, el PLA

se puede obtener por medio de la policondensación directa de monómeros de ácido láctico o por la polimerización de apertura de anillo de L-lactida. Las propiedades finales del polímero dependen de la composición estereoquímica del ácido láctico, ya que hay dos isómeros ópticos: L- y D-ácido láctico. Existe una gran variedad de procesamientos para este material como el moldeo por inyección, la extrusión sobre película fundida, el moldeo por soplado y el termoformado. Este biopolímero exhibe cierto grado de fragilidad que resulta en poca resistencia al desgarro y que se puede reducir combinándolo con almidones plastificantes como sorbitol y glicerol o poliésteres degradables

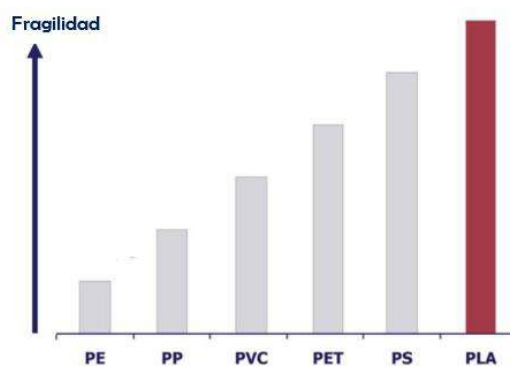


Figura 3. El ácido poliláctico (PLA) muestra mayor fragilidad que otros polímeros (Markarian, 2008).

Consultada el 21 de noviembre de 2017.

Almidón

El almidón es un recurso sumamente usado por su capacidad para producir películas parecidas al plástico, su facilidad de degradación y su amplia disponibilidad. Conocido como almidón termoplástico (TPS), su producción requiere de la aplicación de energía térmomecánica y grandes cantidades de agua y plastificantes, como glicerol o sorbitol. Al mezclarse con otros componentes, se generan polímeros sintéticos biodegradables, como la policaprolactona, el polialcohol vinílico o alcohol vinilo, que son alternativas al uso del poliestireno.

Polihidroxicanoato (PHA)

El polihidroxicanoato es un polímero biodegradable termoplástico gradual que se produce por variedades de microorganismos. Para su fabricación, se necesita hacer una fermentación (producida por células microbianas), seguida de su cosecha utilizando disolventes como cloroformo, cloruro de metileno o cloruro de propileno. Hay más de 100 compuestos de PHA y el más conocido

es el polihidroxitirato (PHB). Estos polímeros tienen el potencial de sustituir a los polímeros convencionales, cuyas propiedades químicas y físicas son semejantes.

Celulosa

La celulosa es un polisacárido obtenido principalmente de una deslignificación de pulpa de madera o linteros de algodón. Para obtener plásticos, se puede disolver con una mezcla de hidróxido de sodio y disulfuro de carbono que da lugar al xantato de celulosa para luego volver a fundirse en una solución ácida (ácido sulfúrico) y formar una película de celofán. Otro método de producción de biopolímeros con base en celulosa ocurre mediante la derivatización de celulosa del estado solvatado a través de la esterificación o eterificación de grupos hidroxilos. El uso de ésteres de celulosa, como el diacetato de celulosa y el triacetato de celulosa, necesita aditivos para producir materiales termoplásticos. Los éteres de celulosa, como la etilcelulosa y la bencilcelulosa, se pueden usar para extrusión,

laminación o moldeo después de la adición de plastificantes u otros polímeros. La mayoría de estos derivados muestran excelentes

propiedades de formación de película, pero son demasiado caros para ser usados de manera masiva.

Materiales crudos, su origen, ventajas y desventajas			
Material crudo	Origen	Ventajas	Desventajas
Ceina	Maíz	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades para tener una película bien formada después de disolverlo con etanol y acetona - Propiedades en la barrera de tensión y humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidad (el uso de plastificantes puede mejorarlo)
Quitosa	Derivado de la quitina	<ul style="list-style-type: none"> - Actividad antimicrobiana y antimicótico - Propiedades mecánicas buenas - Baja permeabilidad de O₂ y CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta sensibilidad al agua
Aislado de proteína de soja	Derivado de la soja		<ul style="list-style-type: none"> - Bajas propiedades mecánicas - Alta sensibilidad a la humedad
Aislado de proteína de suero de leche	Desecho de la industria láctea	<ul style="list-style-type: none"> - Permeable contra oxígeno y aromas 	<ul style="list-style-type: none"> - Barrera moderada contra humedad - Se necesitan plastificantes para facilitar el manejo de las películas
Películas derivadas del gluten	Desechos de la industria del trigo	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Buena barrera contra oxígeno - Buenas propiedades para formación de películas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta sensibilidad contra humedad - Fragilidad

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de materiales para fabricar biopolimeros (Peelman *et al.*, 2013). Consultada el 3 de noviembre de 2017.

BIOEMPAQUES

¿Qué es un bioempaque?

Los bioempaques son envases cuya función es proteger al alimento del medio ambiente y otros factores físicos y químicos, además de asegurar la calidad y la seguridad de los productos alimenticios permitiendo su transporte

y almacenaje prolongado (Trinetta, 2016).

Según DeGruson (2016), el empaquetado es la mayor aplicación de consumo de materiales poliméricos. El uso de polímeros de base biológica, como envases comestibles o biodegradables a partir de recursos

renovables, puede en cierta medida reducir los desechos de envases para alimentos.

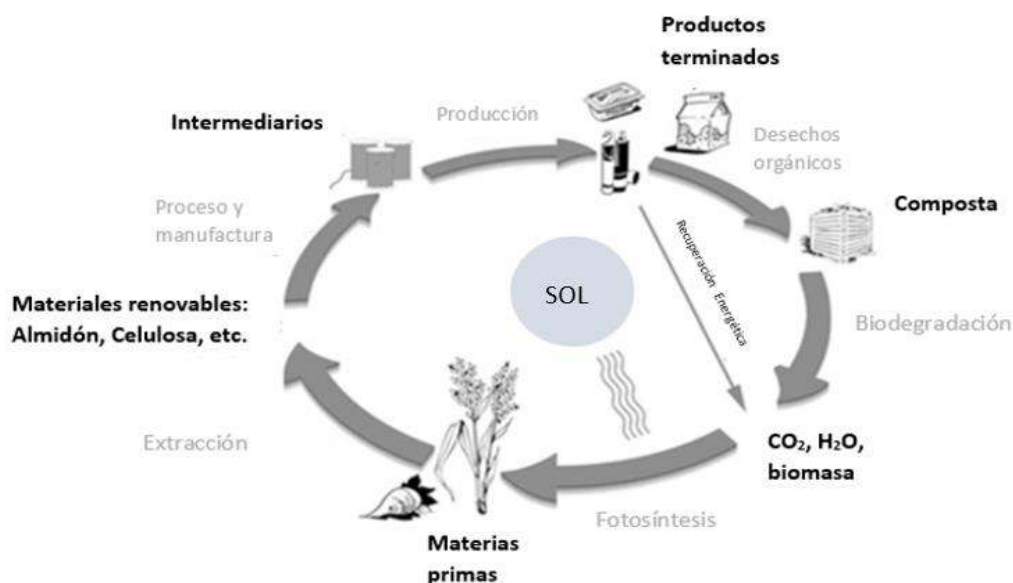


Figura 4. Ciclo de la vida (Siracusa, Rocculi, Romani y Rosa, 2008). Consultada el 3 de octubre de 2017.

¿Cómo se construyen los bioempaques?

Hay técnicas convencionales para el desarrollo de envasado con base biológica como la extrusión, la cocción, el moldeo por inyección, la laminación, el termoformado, entre otras. La fundición es la técnica más utilizada para la producción de películas hechas de almidón comestible y biodegradable. Independientemente de la técnica utilizada para la producción de biopolímeros, es necesario realizar cuatro procesos: 1)

homogenización previa de los aditivos, 2) calentamiento de la solución polimérica 3) secado y 4) caracterización estructural y funcional. Estos procesos pueden diferir según el tipo y la disponibilidad de materiales que se utilicen (Tumwesigye, Oliveira y Gallagher, 2016).

APLICACIONES

Muchos de los materiales mencionados en el área de los biopolímeros tienen o tendrán un uso

importante en la industria del empaquetado (Petersen *et al.*, 1999). Para la fabricación de bioempaques, es necesario contemplar la interacción que hay entre el alimento de interés y el entorno en el que éste se encuentra, ya que es determinante para mantener la calidad del producto. Además, son tres los factores a considerar para el uso en la industria: rendimiento, procesamiento y costo. Varios estudios han reportado el posible uso de envases a partir de materiales biológicos, realizando innovaciones en el campo de la tecnología del envasado para la invención de empaques activos e inteligentes o bioactivos que pueden regular la interacción alimento/entorno prolongado así la vida útil y manteniendo la calidad del alimento al ofrecer ventajas no vistas por empaques tradicionales (Majid, Ahmad, Mohammad y Nanda, 2016). Estas tecnologías incluyen mejoras inteligentes y desafiantes que utilizan ingeniería inversa en función de los requisitos de los productos alimenticios y de la disponibilidad de los materiales utilizados para su

elaboración. Una manera de llevarlas a cabo es a través de la nanotecnología que permite hacer mejoras como la liberación estimulada y controlada de agentes activos por medio de materiales migratorios, los cuales se usan para aumentar la vida útil de los alimentos y mantener sus propiedades organolépticas, liberando sustancias benéficas como agentes antimicrobianos, antioxidantes y aromas y eliminando compuestos indeseables como oxígeno, etileno o algunos olores provenientes del producto envasado o de su entorno. También se incluyen indicadores o sensores específicos de temperatura, tiempo y madurez para asegurar la calidad del alimento (Majid, Ahmad, Mohammad y Nanda, 2016). A continuación se presentan algunos bioempaques específicos desarrollados con base en productos biológicos.

Bioempaques hechos con base en amaranto

Estos polímeros se fabrican a partir de la extracción de gránulos de almidón y se aíslan de la proteína del

grano de amaranto. Se preparan fundiendo los extractos y se aíslan con glicerol. Se trata de generar películas homogéneas, translúcidas y ligeramente marrones con una apariencia visual parecida a la del amaranto. Se agregan nanocristales de almidón por su capacidad de generar fuertes interacciones con la matriz proteica para otorgarle propiedades de permeabilidad al vapor de agua y al agua misma (Condés, Añón, Dufresne y Mauri, 2018).

Bioempaques hechos con base en cáscaras de plátano

Los polímeros fabricados a partir de nanocristales de pectina y celulosa aislados de cáscaras de plátanos tienen propiedades de resistencia al agua, tracción mejorada y barrera al vapor de agua. Al adicionar el material con ácido cítrico, se endurecen las cadenas de pectina, así que la durabilidad de la película mejora (Ítalo *et al.*, 2017).

Bioempaques hechos con base en yuca

La yuca es un alimento altamente consumido a lo largo del planeta, principalmente en países subtropicales de África, donde se cultivan 162.5 millones de toneladas, y en América Latina y Asia, donde se producen 115 millones de toneladas entre ambas regiones. Debido a su bajo costo y sus altos contenidos de almidón, la yuca representa una opción para la creación de biopolímeros.

El almidón de la yuca se puede obtener de raíces frescas o de partes no comestibles como tallos, cáscaras y hojas por medio de métodos de extracción convencionales como la molienda húmeda. Este proceso puede dividirse en cuatro etapas principales: la preparación (pelado y lavado), el raspado o rallado, la recuperación (sedimentación de almidón, lavado, deshidratación y secado) y el acabado (fresado y envasado) (Tumwesigye, Oliveira y Gallagher, 2016).

El futuro de los bioempaques

El futuro de los bioempaques es promisorio debido a que los polímeros sintéticos se están reemplazando

gradualmente por materiales derivados de recursos naturales renovables y materiales que pueden ser fácilmente biodegradables (Tharanathan, 2003). Según un reporte publicado por nova-Institut GmbH, la producción de biopolímeros en el mundo aumentará de 5.1 millones de toneladas a 17 millones de toneladas para 2020. Se espera que las regalías obtenidas del mercado de los biopolímeros aumenten

46% para ese mismo año y que los nuevos polímeros PLA y PHA sean los que muestren las tasas más rápidas de crecimiento en el mercado debido a la disponibilidad y al costo del almidón. Además, el PHA es muy conveniente debido a su alta capacidad de biodegradación y mejores propiedades de barrera en comparación con el PLA (DeGruson, 2016).

Polímero	Permeabilidad a la humedad	Permeabilidad al oxígeno	Propiedades mecánicas	Precio esperado (ECU/kg) ^a
Celulosa/celofán	Alto - medio	Alto	Bueno	1.5 - 3
Acetato de celulosa	Moderado	Alto	Moderado (necesita plastificante)	3 - 5
Almidón/Alcohol polivinílico	Alto	Bajo	Bueno	2 - 4
Proteínas	Alto - medio	Bajo	Moderado	1 - 8
Polihidroxialcanoatos	Bajo	Bajo	Bueno	Presente: 10 - 12 Proyectado ^a : 3 - 5
Polilactatos	Moderado	Alto - moderado	Bueno	Proyectado ^a : 2 - 4
Polietileno de baja densidad	Bajo	Alto	Moderado - bueno	0.7 - 2
Poliestireno	Alto	Alto	Bajo - moderado	1 - 2

^aProyectado: en producción a gran escala

Tabla 2. Propiedades comparativas entre polímeros derivados de materiales biológicos y comparación entre polietileno y poliestireno (Petersen *et al.*, 1999). Consultada el 21 de noviembre de 2017.

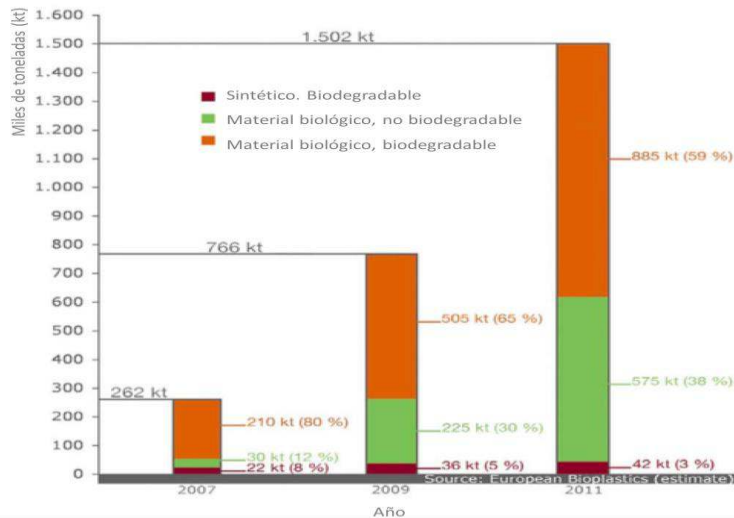


Figura 5. Producción global de bioplásticos en la Unión Europea. Se observa un gran incremento en la producción de plásticos hechos con materiales biológicos, ya sean degradables o no, y un decremento en la producción de plásticos sintéticos (de 8 a 3%) en menos de una década (Markarian, 2008). Consultada el 3 de noviembre de 2017.

CONCLUSIÓN

Los bioempaques están asumiendo un papel importante en la industria y en la sociedad por los múltiples beneficios que ofrecen tanto para el cuidado de los alimentos como para el cuidado del medio ambiente. La investigación y el desarrollo de la ciencia y la tecnología de empaques biodegradables han dado lugar a técnicas innovadoras bioactivas e inteligentes de envasado de alimentos. Estos envases pueden ser sintetizados a partir de diferentes compuestos biológicos, mostrando una competitividad con los materiales

sintéticos. Aunque se ha creado una gran diversidad de biopolímeros, todavía hay limitaciones en términos de rendimiento, como la resistencia térmica, la barrera y las propiedades mecánicas asociadas con los costos. Además, es necesario hacer más investigaciones para mejorar estos materiales a través de moléculas inteligentes y proporcionar información sobre las propiedades de los alimentos dentro del empaque (calidad, vida útil, inocuidad) y sobre los valores nutricionales para que el consumidor pueda elegir los alimentos de manera más adecuada.

Agradecimientos

Las autoras desean agradecer al Doctor Enrique González Vergara por el tiempo dedicado a la enseñanza de la redacción y por la revisión de este

trabajo y a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por las herramientas para el acceso a la información y por la oportunidad de llevar a cabo más investigaciones relacionadas con el tema en el futuro.

Referencias

- Condés, M. C., Añón, M. C., Dufresne, A. y Mauri, A. N. (2018). Composite and nanocomposite films based on amaranth biopolymers. *Food Hydrocolloids*, 74, 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.013>
- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J. L. y Guilbert, S. (1996). Stability of myofibrillar protein-based biopackagings during storage. *Lwt-Food Science and Technology*, 29 (4), 344-348. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0052>
- DeGruson, M. L. (2016). Biobased Polymer Packaging. *Reference Module in Food Science*, 100596. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03373-4>
- Dudefoi, William; Villares, Ana; Peyron, Stéphane; Moreau, Céline; Ropers, Marie-Hélène y Gontard, Nathalie C. B. (2017). Nanosciences and nanotechnologies for biobased materials, packaging and food applications: new opportunities and concerns. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (Septiembre), en revisión. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.007>
- Elmore, M. H., McGary, K. L., Wisecaver, J. H. y Slot, J. C. (2015). 1, # 4 , 4-6. <https://doi.org/10.1093/gbe/evv025>
- Ferrer, A., Pal, L. y Hubbe, M. (2017). Nanocellulose in packaging: Advances in barrier layer technologies. *Industrial Crops and Products*, 95, 574-582. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.012>
- Iles, A. y Martin, A. N. (2013). Expanding bioplastics production: Sustainable business

- innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 45, 38-49.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.008>
- Ítalo, T., Oliveira, S., Rosa, M. F., Ridout, M. J., Cross, K., Brito, E. S. y Azeredo, H. M. C. (2017). Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.068>
- Kishna, M., Niesten, E., Negro, S. y Hekkert, M. P. (2017). The role of alliances in creating legitimacy of sustainable technologies: A study on the field of bio-plastics. *Journal of Cleaner Production*, 155, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.089>
- Majid, I.; Ahmad, Nayik G.; Mohammad, Dar S. y Nanda, V. (2016). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>
- Markarian, J. (2008). Biopolymers present new market opportunities for additives in packaging. *Plastics, Additives and Compounding*, 10 (3), 22-25.
[https://doi.org/10.1016/S1464-391X\(08\)70091-6](https://doi.org/10.1016/S1464-391X(08)70091-6)
- Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L. y Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 32 (2), 128-141.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>
- Petersen, K.; Væggemose, Nielsen P.; Bertelsen, G.; Lawther, M.; Olsen, M. B.; Nilsson, N. H. y Mortensen, G. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 10 (2), 52-68.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00019-9)
- Philp, J. C., Ritchie, R. J. y Guy, K. (2013). Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, 31 (2), 65-67. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.11.009>
- Rhim, J. W., Park, H. M. y Ha, C. S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging

applications. *Progress in Polymer Science*, 38 (10-11), 1629-1652.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. y Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 19 (12), 634-643. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>

Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R. y Davies, G. B. H. (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526), 2127-2139. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0289>

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14 (3), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)

Trinetta, V. (2016). Biodegradable Packaging. Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03351-5>

Trinetta, V. (2016). Definition and Function of Food Packaging. Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03319-9>

Tumwesigye, K. S., Oliveira, J. C. y Gallagher, M. J. S. (2016). Integrated sustainable process design framework for cassava biobased packaging materials: Critical review of current challenges, emerging trends and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.001>