

Bioplásticos

Pacheco Gina., Flores, Nydia C., Rodríguez-Sanoja Romina*

Departamento de Biología Molecular y Biotecnología. Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F. 04510, México. e-mail: romina@biomedicas.unam.mx

RESUMEN

El incremento acelerado de generación de residuos plásticos derivados del petróleo y el aumento en el precio de este recurso no renovable demandan nuevas alternativas de tratamiento y tecnología, entre las cuales surge una tendencia en sustituir tales polímeros por bioplásticos. Los bioplásticos son materiales biodegradables que provienen de recursos renovables y en algunos casos presentan propiedades similares a los plásticos elaborados a partir de petróleo. En esta revisión se describen algunos bioplásticos importantes en el mercado divididos en tres grupos: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos a partir de microorganismos

Palabras clave: Bioplásticos, recursos renovables, carbohidratos, biodegradable

ABSTRACT

The rapid increase in plastic waste made from fossil fuels and the increase in price of this nonrenewable resource demand new treatment and technology options to overcome this problem. Nowadays, the developments of technics, to overcome these issues, are mainly focused in the replacement of such polymers for bioplastics. Bioplastics are materials from renewable resources that may or may not be biodegradable and in some cases have similar properties from those made from fossil fuel. In this review we will describe the most important bioplastics that have been developed as well as the benefits of using renewable resources to produce plastics.

Key words: Bioplastics, renewable resources, carbohydrates, biodegradable

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial anual de los plásticos sintéticos provenientes del petróleo es más de 200 millones de toneladas, con un incremento anual de aproximadamente el 5% (Siracusa et

al., 2008). La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en unos residuos difíciles de eliminar convirtiéndose en un problema ambiental.

Por ejemplo el polietileno y el polipropileno, unos de los plásticos más utilizados, tardan hasta 500 años en descomponerse (Gross & Kaira, 2002). Por otro lado el petróleo es un recurso no renovable y ha presentado una fluctuación en su precio. Ante estas problemáticas sin mencionar las emisiones de gases tipo invernadero, en los últimos años se ha prestado gran atención en el desarrollo y uso de bioplásticos.

Aunque existen como posible solución programas de reciclaje implementando controles sobre la cantidad de plástico que se consume diariamente, solo se realizan sobre el residuo ya generado y, además, no es una alternativa para todos los plásticos de origen petroquímico.

El objetivo de esta revisión es dar a conocer los tipos de bioplásticos así como sus aplicaciones y propiedades para despertar en México la curiosidad hacia ellos, la generación de normas con respecto a los residuos plásticos y motivar a la industria a realizar un cambio.

Los biopolímeros son todos aquellos polímeros producidos por la naturaleza como lo son el almidón y la celulosa. Pueden ser asimilados por varias especies (biodegradables) y no tienen efecto tóxico en el hospedero (biocompatibles) dándoles una gran ventaja con respecto a los polímeros tradicionales (Luengo *et al.*, 2003). De ellos se derivan los bioplásticos que en ocasiones provienen de la misma materia prima pero al sufrir un procesamiento distinto se originan bioplásticos diferentes.

La biodegradabilidad de un material no depende del origen del material sino de su estructura química por lo que existen bioplásticos no degradables. La *American Society for Testing and Materials* (ASTM D-5488-944) define la biodegradabilidad como a la capacidad de un material de descomponerse en CO₂, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos.

Actualmente, los polímeros provenientes de recursos naturales se dividen en 3 grandes grupos dependiendo de su origen:

1. Polímeros a partir de biomasa (polisacáridos y proteínas) como el almidón, celulosa, caseína y gluten
2. Polímeros a partir de síntesis química utilizando monómeros obtenidos a partir de recursos naturales como Bio-poliéster y el ácido poliláctico (PLA)
3. Polímeros obtenidos a partir de microorganismos como el PHA y PHB (Sprajcar *et al.*, 2012)

Dentro de estos tres grandes grupos hay una gran variedad de bioplásticos ya que de estos se pueden generar productos puros o mezclas. Para fines de esta revisión se eligieron algunos ejemplos de cada grupo con el fin de mostrar un panorama general así como sus aplicaciones y origen o proceso por el cual se obtienen. En la tabla 1 se encuentran ejemplos de los bioplásticos más utilizados así como sus aplicaciones y algunas de las empresas que en Europa los fabrican.

ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO

El almidón es un polímero de glucosa formado por dos polímeros: la amilosa y la amilopectina (Fig. 1). La amilosa es un polímero lineal que presenta un arreglo helicoidal en el espacio y consiste en más de 6000 unidades de glucosa enlazadas mediante uniones glucosídicas α -1,4. La proporción de este polímero varía respecto al origen del almidón, el contenido típico de amilosa es de 15 a 25%. Por otro lado la amilopectina está

formada por cadenas lineales de aproximadamente 10 a 60 unidades de glucosa, unidas por enlaces α -1,4 y cadenas laterales de 15-45 residuos de glucosa unidas mediante enlaces α -1,6. La molécula completa de amilopectina contiene aproximadamente 2 000 000 unidades de glucosa, lo que la convierte en una de las más largas en la naturaleza y se encuentra en una proporción de 75 a 85% (van der Mareel, *et al.*, 2002).

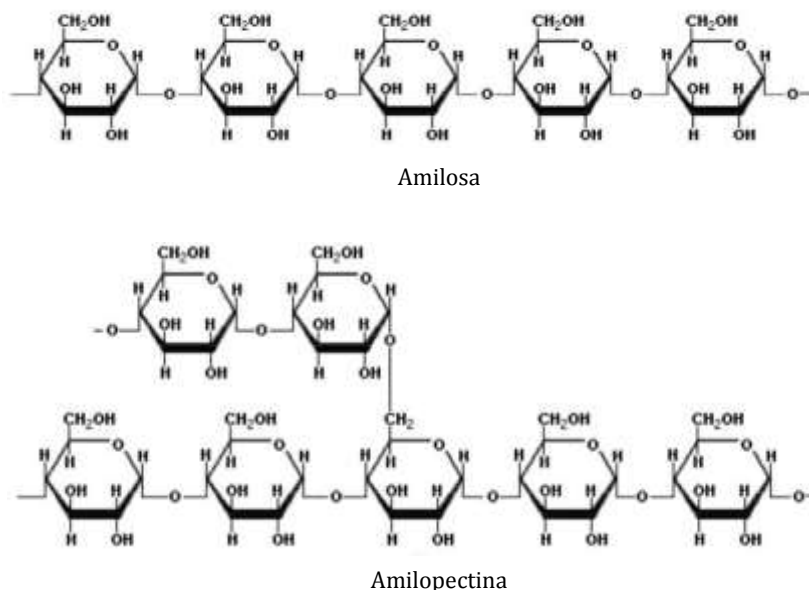


Fig. 1. Representación de los dos polímeros de glucosa que se encuentran en el almidón.

Arriba: amilosa. Abajo: amilopectina.

La plastificación del almidón se obtiene por la disrupción estructural que resulta de una disminución de los cristales durante el proceso de extrusión y la acción de plastificantes (glicerina, sorbitol, xilitol, entre otros) emergiendo un nuevo tipo de material conocido

como almidón termoplástico (TPS) (Acosta *et al.*, 2006). Sin embargo, el plástico a base de almidón tiene algunos inconvenientes, incluida la baja estabilidad a largo plazo causados por la sensibilidad a la humedad y pobres

Artículos

Tabla 1. Tipos de bioplásticos, marcas y aplicaciones en Europa. Adaptado de www.nnfcc.co.uk

Bioplástico	manufactureros	marca	aplicaciones
Almidón	Limagrain Cereales	Biolice	Bolsas, charolas papel para envolver, material de empaque (cacahuates)
	DuPont	Biomax	
	Stanelco	Biome	
	BIOP Biopolymer	BIOPAR	
	Biotech	Bioplas	
	Cardia Bioplastics	Cardia	
	Cerestech	Cereloy	
	Cereplast	Cereplast	
	IGV	Compostables	
	Grace Biotech	GETREX	
	Novamont	GRACE Bio	
	POLYDEN	Mater-Bi	
	Foilenfabrik	Mulchfolie	
	Plantic Technologies	Plantic	
	Starch Tec	Re-NEW	
Rodenburg Biopolymers	Solanyl		
Wenstus Kunststoff	Wenterra		
Celulosa	Clarifoil	Carifoil	Películas flexibles
	Innovia Films	Nature Flex	
PLA	fkuR Kunststoff	Bio-Flex	Contenedores rígidos, películas,

	sidaplast	earthFirst	recubrimientos
	BASF	Ecovio	
	NatureWorks	Ingeo	
	Purac	Lactide monomer	
	PHB Industrial Brasil	Biocycle	
PHAs	Telles	Mirel	Charolas, películas , recubrimientos
	Tianan Biologic Material	Y1000P	
	Braskem		
Bio-PE	Dow Chemical Company	Bio-PE	Contenedores rígidos, papel para envolver, recubrimientos, tapas.
	Crystalev		
Bio-PET	Coca-Cola	Coca-Cola PlantBottle	Botellas, charolas, películas

propiedades mecánicas. Estos problemas se han reducido realizando mezclas de este bioplástico con plásticos biodegradables y de origen petroquímico.

Las mezclas de polivinil alcohol (PVA) y almidón son de los plásticos biodegradables más populares. Gracias a la naturaleza hidrófila del PVA es compatible con el almidón. Esta mezcla muestra una mejora en la resistencia a la tracción y alargamiento comparada con el TPS puro (Fishman et al., 2006). Recientemente se ha reportado que 55 especies de microorganismos (incluidos bacterias, hongos y levaduras) participan en la degradación de PVA (Leja & Lewandowics, 2010).

La mezcla de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, para esto, el poliéster más adecuado es la policaprolactona (PCL). Estas mezclas se utilizan para fabricar láminas y películas para embalaje (Schoeter, 1992).

El almidón es uno de los biopolímeros más utilizados para la generación de envases y utensilios en la industria de alimentos así como para:

- Bolsas de supermercados
- Material de empaque para rellenar espacio vacío y proteger la mercancía
- Bolsas de basura
- Productos de higiene y cosméticos

CELULOSA

La celulosa es el material renovable más abundante de la tierra y es ampliamente utilizado en diversas industrias como la del papel y la textil. La celulosa está formada por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces β -1,4 glucosídicos, tiene una estructura lineal en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupo OH de las cadenas glucosa que juegan un papel fundamental en la determinación de la fuerza y la rigidez de la celulosa como soporte estructural. (Bastioli, 2001). Actualmente, la celulosa es utilizada en la industria de los polímeros en combinación con otros materiales. Su principal característica es aumentar la hidrofobicidad y mejorar las propiedades mecánicas, además de aumentar la biodegradabilidad.

En algunas ocasiones la celulosa es mezclada con almidón para aumentar las propiedades hidrofóbicas, mecánicas, la permeabilidad de gases y la resistencia al agua. Así mismo mediante la modificación química de la celulosa se pueden obtener polímeros como el celofán, acetato de celulosa y éter de celulosa.

En general los bioplásticos obtenidos a partir de celulosa ya sea pura o en mezclas se utiliza para:

- Juguetes
- Equipo deportivo

- Aplicaciones medicas
- Interiores de autos
- Decoración
- Construcción

ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

La polimerización del ácido láctico da como resultado el ácido poliláctico, un biopolímero que posee D- y L- isómeros o una mezcla racémica de este termoplástico. La producción de este biopolímero empieza con el almidón el cual generalmente se extrae del maíz o la papa, luego los microorganismos pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* (Domínguez & Vasquez, 1999) lo transforman en una molécula más pequeña de ácido láctico o 2 hidroxi-propiónico (monómero), la cual es la materia prima que se polimeriza formando el PLA (Fig. 2).

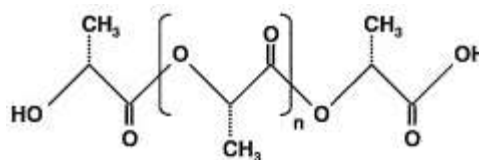


Fig. 2. Estructura del ácido poliláctico

El PLA se caracteriza por sus buenas propiedades mecánicas, actualmente se utiliza para la elaboración de vasos, copas, láminas y como envase de alimentos. También ha sido utilizado en aplicaciones biomédicas en

sistemas de liberación controlada de fármacos, gracias a su biocompatibilidad y biodegradabilidad. (Valero *et al.*, 2013).

La degradación del PLA es más lenta si la cristalinidad es elevada, si el contenido de L-PLA o el peso molecular es alto. La mayoría de los microorganismos que degradan el PLA filogenéticamente pertenecen a la familia de *Pseudonocardiaceae* y géneros afines, tales como *Amycolatopsis*, *Lentzea*, *Streptoalloteichus*, y *Saccharothrix*. (Tokiwa *et al.*, 2006). Las enzimas de estos microorganismos atacan los grupos éster de las cadenas de polímeros mediante reacciones de hidrólisis seguidas por reacciones de oxidación, de esta forma reducen el polímero en fragmentos de peso molecular inferiores a 500 g/mol, los cuales pueden ser diferidos por los microorganismos. (Serna *et al.*, 2003).

POLIHIDROXIALCANOATOS (PHA)

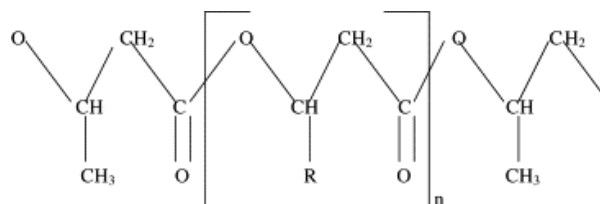
Los Polihidroxicanoatos (PHA) son poliésteres alifáticos naturales que se sintetizan y se almacenan en el citoplasma de la célula como reserva de carbono y energía en forma de cuerpos insolubles (Sudesh *et al.*, 2000). Estas inclusiones están constituidas por unidades repetidas de diversos hidroxácidos (Fig. 3) o mezclas de ellos producidos mediante fermentación de materias primas renovables (Mutlu & Meier, 2010). Hasta el momento se han reportado más de 150 tipos diferentes de PHA, el más representativo es el poli(hidroxibutirato) (PHB), el cual se acumula en bacterias como *Alcanigenes eutrophus* y *Azotobacter inelandii* (Lakshman & Shamala, 2003).

Los PHA's tienen un alto porcentaje de polimerización con un grado de cristalinidad en el rango de 60 a 80%, y exhiben propiedades térmicas y mecánicas similares a los termoplásticos tradicionales como el polietileno y el polipropileno (Khanna & Srivastava, 2005). Estos polímeros son utilizados para la elaboración de contenedores de productos cosméticos, en productos higiénicos femeninos, utensilios, productos de embalaje y bolsas. (<http://www.plastice.org>) (Valero *et al.*, 2013).

Un número de microorganismos tales como bacterias y hongos en el suelo, lodos y agua de mar excretan enzimas degradantes de PHA, estas enzimas hidrolizan el PHA sólido en oligómeros y monómeros solubles en agua, que posteriormente, utilizan como nutrientes dentro de las células (Sudesh *et al.*, 2000). A pesar de ventajas de usar los PHA's frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso actual está muy limitado debido a su alto costo de producción, por lo tanto se buscan nuevas estrategias para reducir costos, entre las que se encuentran el uso de organismos genéticamente modificados y la exploración de nuevas cepas productoras.

POLIAMIDA 11

La poliamida 11 es un polímero que a pesar de provenir de recursos naturales no es biodegradable, al igual que los bio-poliésteres como el bio-PET o bio-PE. La poliamida 11 o nylon 11 proviene de la degradación del aceite de castor. Dentro de sus propiedades destacan



n varía de 600 a 3500

R=hidrogeno	Poli(3-hidroxiopropionato)
R=metil	Poli(3-hidroxi butirato)
R=etil	Poli(3-hidroxi valerato)
R=propil	Poli(3-hidroxi hexanoato)
R=pentil	Poli(3-hidroxi octanoato)
R=nonil	Poli(3-hidroxi dodecanoato)

Fig. 3. Estructura general del PHA (Lee, 1995).

resistencia al agua y temperaturas altas por lo que es utilizado en cables eléctricos y en la industria automotriz (www.european-plastics.org).

BIO-POLIETILENO BIO PE

El bio-polietileno es un plástico idéntico en estructura y propiedades al polietileno producido a partir de petróleo por lo que no es biodegradable. Este bioplástico proviene de la polimerización del etileno obtenido a partir del bioetanol.

Así como el Bio-PE existen otros Bio-poliéster como el Bio-PET que mantienen la misma estructura que aquellos producidos a partir de recursos no renovables, donde su síntesis se da a partir de monómeros, generados de recursos renovables, que son posteriormente polimerizados por síntesis química. Una de las ventajas principales de la actual producción de algunos polímeros

tradicionales como el polietileno, basados en biomasa es que además de mantener las propiedades ya conocidas y características de estos no se consume petróleo ni aumentan las emisiones de CO₂ en el planeta (Luengo, *et al.*, 2003).

IMPACTO AMBIENTAL Y SITUACIÓN EN MÉXICO

En México la mayoría de los plásticos utilizados no son biodegradables, a pesar de decir que los son. Estos llamados plásticos biodegradable (oxo-degradable, uv-degradable) en realidad son derivados del petróleo con aditivos para permitir su fragmentación rápida, sin embargo, las partículas no son degradadas a CO₂ y agua.

Más allá de ser en su mayoría biodegradables, los bioplásticos tienen un impacto favorable al ambiente, en especial si los comparamos con los plásticos derivados del

petróleo. Por ejemplo, la producción de plásticos derivados de recursos naturales implica un consumo menor de energía, así como menor emisión de gases tipo invernadero al ambiente. Además, el producir plásticos a partir de biomasa implica la independencia del petróleo (Sprajcar *et al.*, 2012).

Sin embargo, actualmente los costos de producción de la mayoría de estos plásticos de nueva generación es alto (aproximadamente un 30% superior), así mismo y debido a que los bioplásticos aún se encuentran en desarrollo es importante sobrepasar las barreras que limitan su uso, es decir, no todos los bioplásticos tienen las mismas propiedades mecánicas, de resistencia al agua y permeabilidad de gases que los plásticos tradicionales (www.european-plastics.org), es por ello que actualmente la investigación sobre los plásticos de nueva generación se encuentra en un momento importante y el desarrollo de normas con respecto al uso de plásticos en materiales de empaque es fundamental. Existen varios países, especialmente en Europa, donde los plásticos derivados del petróleo ya no son una opción viable.

Desafortunadamente en México la mayoría de las industrias aun utilizan el petróleo como la fuente principal para la producción de plásticos, debido principalmente a que no existe normatividad que regule el uso de plásticos., En el 2008 se aprobaron una serie de reformas de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. El artículo 11 XVII Bis indica "Evitar que en la transportación, contención y envase de materiales, así como en el manejo de residuos sólidos se utilicen materiales no

biodegradables", con el fin de reducir el consumo de bolsas, envases, embalajes o empaques de plástico no biodegradable que se utilicen en establecimientos mercantiles. Lo que básicamente comprende desde el 2008 la prohibición de regalar bolsas de plástico. El impacto en la disminución en el uso de plástico no ha sido evaluado, aunque, se puede observar que se cambiaron las bolsas de plástico por bolsas de materiales oxo-degradables y en contados casos, por bolsas de tela.

El incremento en la investigación básica y aplicada para el desarrollo y mejoramiento de estos biomateriales, aunado a un trabajo legislativo agudo permitirá el desarrollo de tecnologías para la producción de bioplásticos a un costo menor y con ello motivar su uso dentro de las diferentes industrias.

AGRADECIMIENTOS

Gina Pacheco agradece a Conacyt por la beca para estudios de maestría en el Posgrado en Ciencias Bioquímicas, UNAM. Este trabajo es realizado con el apoyo de DGAPA-UNAM IN222113. A el M. en C. Daniel Guillen por su apoyo para realizar esta revisión.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta H, Villada H, Torres S & Ramírez J (2006) Morfología superficial de almidones termoplásticos agro de yuca y nativo de papa por microscopía óptica y microscopía de fuerza atómica. *Inf. Tecnol.* 17: 63-70.
- Bastoli C (2001) Global status of the production of biobased packaging materials. *Starch-Starke* 53: 351-355.

- Dominguez J & Vasquez M (1999) Effect of the operational conditions on the L- lactic acid production by *Rhizopus oryzae*. *Cien. Tecnol. Alimen.* 2: 113-118.
- Fishman M, Coffin D, Onwulata C & Willett J (2006) Two stage extrusion of plasticized pectin/poly(vinyl alcohol) blends. *Carbohydrate Pol.* 65: 421–429
- Gross R & Kalra B (2002) Biodegradable polymers for environment. *Science* 297: 803-807.
- Khanna S & Srivastava AK (2005). Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. *Process Biochem.* 40: 607-619.
- Lakshman K & Shamala T (2003) Enhanced biosynthesis of polyhydroxyalkanoates in a mutant strain of *Rhizobium meliloti*. *Biotechnol. Lett.* 25: 115–119.
- Lee S (1995) Bacterial polyhydroxyalkanoates. *Biotechnol. Bioeng.* 49: 1–14.
- Leja K & Lewandowics G (2010) Polymer biodegradation and biodegradable polymers— a Review. *Polish J. Environ. Stud.* 19:255-266.
- Luengo JM, Garcia B, Sandoval A, Naharro G & Olivera ER (2003) Bioplastics from microorganisms. *Curr. Op. Microbiol.* 6: 251-260
- Mutlu H & Meier M (2010) Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European J. Lipid Sci. Technol.* 112: 10-32
- Schoeter J (1992) On mechanical properties of native starch granules. *Starch-Starke* 44: 247-253.
- Serna L, Rodríguez A & Alban F (2003) Ácido poliláctico (PLA), propiedades y aplicaciones. *Ingeniería y competitividad* 5: 16-24.
- Siracusa V, Rocculi P, Romani S & Rosa MD (2008) Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends Food Sci Technol.* 19: 634-643.
- Sprajcar M, Horvat P & Krzan A (2012) Biopolymers and bioplastics: plastics aligned with nature, *Plastice proyect. Innovative value chain for development for sustainable plastics in Central Europe. European Union.* pp. 1-32.
- Sudesh K, Abe H & Doi Y (2000) Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters. *Progress Polym. Sci.* 25:1503-1555.
- Tokiwa T & Calabria B (2006) Biodegradability and biodegradation of poly(lactide). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 72: 244-251.
- Valero M, Ortegon Y & Uscategui Y (2013) Biopolimeros : avances y perspectivas. *Dyna*, 181: 171-180.
- van der Maarel MJEC, van der Veen B, Uitdehaag JCM, Leemhuis H & Dijkhuizen L (2002) Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *J. Biotechnol.* 94: 137-155.