

Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente

David Aradilla Zapata, Ramón Oliver Pujol y Francesc Estrany Coda

Biodegradable polymers: an alternative of future to the sustainability of the environment

RESUMEN

La introducción de nuevos materiales biodegradables ha sido el reto de la ciencia de los materiales en los últimos 20 años, ya que los residuos poliméricos sintéticos han aumentado considerablemente. Muchos esfuerzos tecnológicos han sido dirigidos principalmente a solventar problemas en el área de la salud, medicina y medio ambiente. Si bien los polímeros naturales están generalmente más asociados al término de biodegradabilidad, la gama de polímeros sintéticos que cumplen este concepto se ha incrementado notablemente en los últimos años, debido a la mejora de sus propiedades, que los han hecho más susceptibles de seguir los mecanismos de degradación que les afectan en el medio ambiente una vez que se han convertido en residuos.

Recibido: 14 de octubre de 2010
Aceptado: 29 de noviembre de 2010

ABSTRACT

During the last decade the synthesis of new biodegradable materials have attracted a lot of attention because of their interesting properties in different fields, such as technology, food packaging and environment. Nowadays, the environmental topic is one of the most interesting fields since important developments have been carried out to solve some environmental problems, such as pollution, waste, etc. In this context, biodegradable polymers suggest a promising alternative to improve the quality of life of our planet. Although natural polymers are generally associated with the concept of biodegradability, the synthetic polymer range that satisfy this requirement has been increased in the last years, therefore interesting improvements in terms of degradation mechanisms have been widely studied.

Received: October 14, 2010
Accepted: November 29, 2010

Palabras clave

Polímeros naturales, polímeros sintéticos, biodegradabilidad, sostenibilidad, medio ambiente

Keywords

Natural polymer, synthetic polymers, biodegradability, sustainability, environment

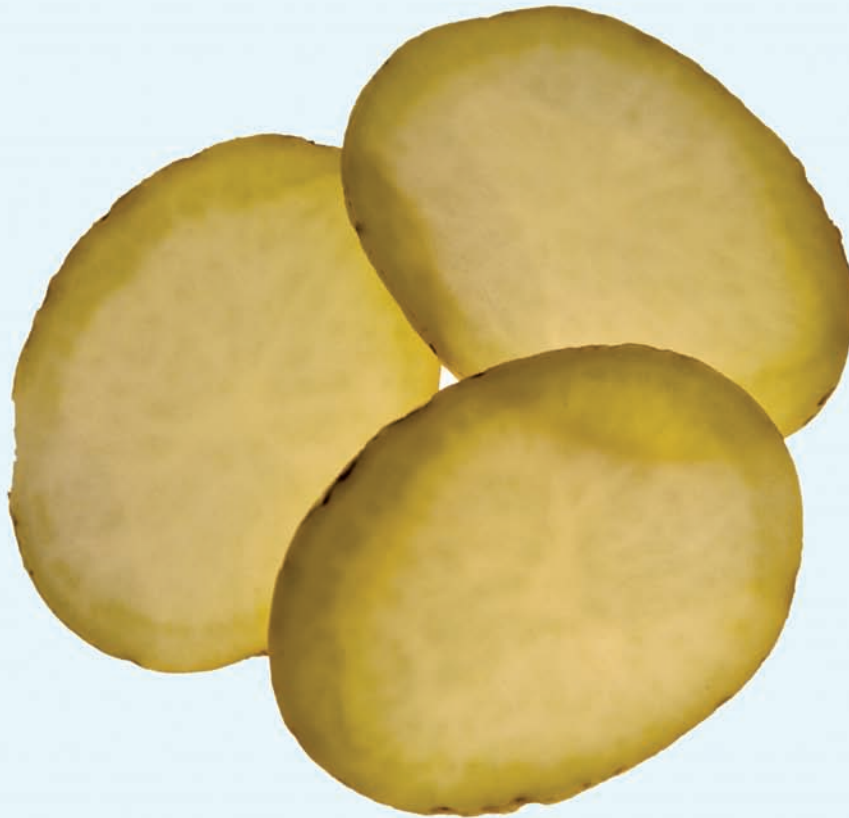


Foto: Pictelia

El extraordinario desarrollo de las materias plásticas en ámbitos tan variados como el embalaje, el edificio, el transporte, los equipamientos eléctricos y electrónicos, el mobiliario, la decoración, etcétera explica las múltiples calidades y propiedades de estos materiales. Sin embargo, varias décadas de aplicación intensiva para usos corrientes de nuestra vida cotidiana han comportado la acumulación de plásticos en nuestro medio ambiente generando fuentes de contaminación atmosférica y visual, además de suelos y medios marítimos. La toma de conciencia por nuestras sociedades industrializadas de esta contaminación a largo plazo (la vida de una bolsa de plástico abandonada en el suelo se estima en unos 200 años) y de los problemas de reciclaje de los plásticos ha conllevado un estudio sobre el uso de polímeros biodegradables.

A la misma velocidad con que los plásticos se demandan, también se desechan. Son productos cuya utilización como material de empaque para todo tipo de elementos ha sido muy exitosa, lo cual les representa un ciclo de vida muy corto y, por tanto, un alto volumen de eliminación. Alrededor de 100 millones de toneladas de plástico se producen cada año, de los cuales 40 millones son pro-

ducidos únicamente por Estados Unidos. Del total de esta gran cantidad de plásticos, alrededor del 30% se usa en material de empaque, es decir, en material de rápido desecho que tiene una corta vida útil y va a parar a los rellenos sanitarios donde pueden llegar a permanecer más de 100 años. Los plásticos son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable. Del total del petróleo extraído en el mundo, alrededor del 5% se destina a la industria del plástico. Dicho mineral fósil experimenta en la actualidad un crecimiento continuo en su precio y las proyecciones afirman que se agotará en menos de 50 años si el ritmo de consumo sigue como el actual.

Así, los polímeros biodegradables están en pleno desarrollo para intentar paliar el problema medioambiental que supone el reciclado de los plásticos convencionales. De esta manera, nuevas alternativas basadas en polímeros naturales se han desarrollado en los últimos años manteniendo las propiedades y la funcionalidad de los polímeros convencionales. Actualmente, se están utilizando en varios ámbitos tales como bolsas de plástico (figura 1), embalajes industriales, embalaje doméstico y la restauración, la medicina, los productos para la agri-

cultura y la horticultura donde su éxito y alternativa a los problemas asociados al residuo han sido eficazmente probados.

Objetivos de estrategia medioambiental

En los últimos años se han hecho varios intentos para definir de forma consensuada los términos degradación y biodegradación. Sin embargo, dada su dificultad, la comunidad científica no ha llegado a un acuerdo para una definición precisa desde el punto de vista químico. Por degradación de un polímero se entiende aquel cambio en su estructura química que conlleve una modificación apreciable de sus propiedades. Lo que se pretende con los polímeros degradables es que se mantengan las propiedades durante el período de utilización del polímero y un posterior cambio de su estructura química para descomponerse en componentes compatibles con el medio ambiente. En el caso de la biodegradación, se trata de un proceso de degradación química llevado a cabo por agentes biológicos (enzimas, bacterias y microorganismos). En concreto, la biodegradación producto de la exposición ambiental implica la acción de microorganismos y tiene como consecuencia una reducción del grado de polimeriza-

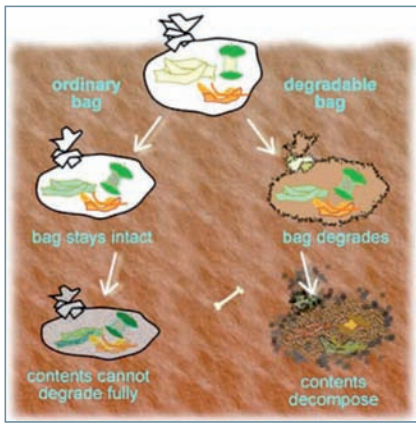


Figura 1. Esquema de la degradabilidad o no degradabilidad de una bolsa de plástico.

ción, así como la degradación del polímero en fragmentos orgánicos simples.

Tipos de polímeros biodegradables de uso comercial

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar principalmente en cuatro categorías distintas:

a) *Polímeros naturales*: celulosa, almidón y proteínas. El almidón se considera actualmente uno de los principales materiales biodegradables con mayor aplicación. El almidón, termoplástico de carácter fuertemente hidrofílico, de bajo coste y de alta disponibilidad, puede utilizarse como aditivo biodegradable o material de sustitución en plásticos tradicionales. Este compuesto acelera la degradación o la fragmentación de las cadenas de los polímeros sintéticos. La acción microbiana

consume el almidón, creando poros en el material, que pueden llevar a su rotura.

b) *Polímeros naturales modificados*: acetato de celulosa o los polialcanatos.

c) *Materiales compuestos que combinan partículas biodegradables*: (por ejemplo, el almidón, la celulosa regenerada o gomas naturales) con polímeros sintéticos (mezclas de almidón y poliestireno, o almidón y policaprolactona).

d) *Polímeros sintéticos*: poliésteres, poliesteramidas y poliuretanos entre otros.

Polímeros naturales tales como carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos presentan átomos de oxígeno y nitrógeno en su cadena principal. Si estos átomos son incluidos en polímeros sintéticos, el material se vuelve más fácilmente degradable. Además, grupos carbonilos absorben energía lumínica que permite que estos materiales sean fotodegradables.

Las características descritas anteriormente pueden ser contempladas en las estructuras de algunos de los polímeros degradables que se utilizan actualmente.

- **Ácido poliláctico (PLA)**: el homopolímero derivado del monómero natural, L-láctico (L-PLA), presenta un elevado grado de cristalinidad (37%) debido a su estereorregularidad. El material es de alta resistencia a la tensión y baja elongación, y consecuentemente tiene un módulo de Young elevado. El polímero es muy adecuado para aplicaciones que tienen que soportar una carga como son las suturas y fijaciones ortopédicas. Sus características térmicas se encuentran definidas por un alto punto de fusión y

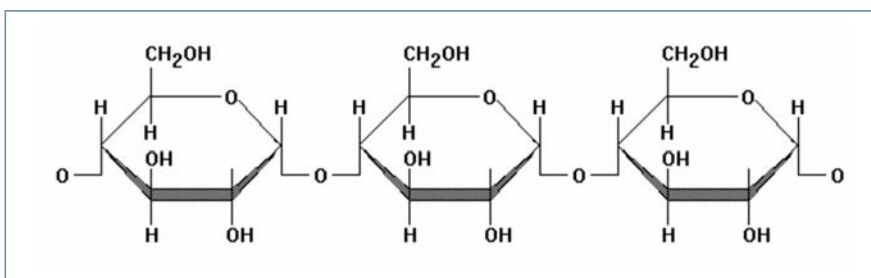


Figura 2. Estructura del almidón.

Esquema 1. Síntesis del poliláctico.

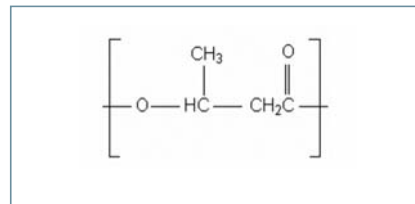
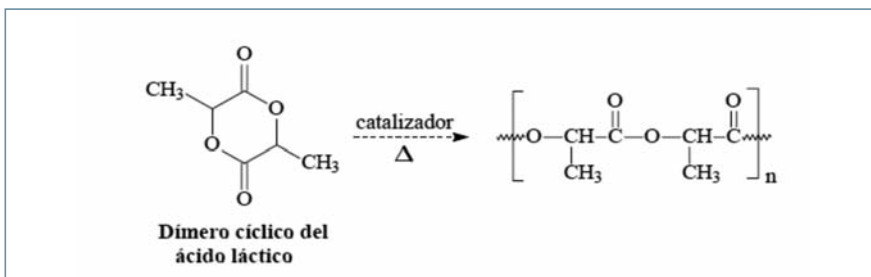
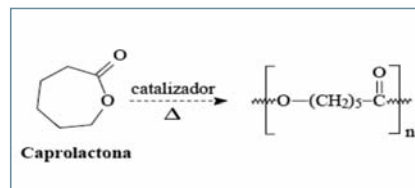


Figura 3. Estructura del polihidroxibutirato (PHB).

Esquema 2. Polimerización de la caprolactona (PCL).



una temperatura de transición vítrea entre 60 °C y 65 °C.

- **Polihidroxibutirato (PHB)**: el PHB es un polímero no cristalino que se convierte en cristalino durante el proceso de extracción. Esta transformación se debe a la pérdida de las propiedades mecánicas. Las propiedades del PHB son similares a las del polipropileno, exceptuando su biodegradación. Respecto a sus propiedades físicas, el PHB es insoluble en agua y relativamente resistente a la hidrólisis. Sus principales aportaciones se encuentran en aplicaciones médicas y embalaje para agricultura.

- **Policaprolactona**: la policaprolactona (PCL) es un polímero semicristalino con una temperatura de transición vítrea de alrededor de 60 °C. Se trata de un polímero con baja viscosidad y fácil de procesar. La PCL presenta una alta permeabilidad al agua, oxígeno y CO₂, además de unas propiedades mecánicas comparables a las del polietileno de baja densidad. De este modo, la PCL se puede considerar un excelente material para mejorar las propiedades mecánicas de otros polímeros. Entre sus principales aplicaciones se halla su uso en suturas, adhesivos, revestimientos superficiales, etcétera.

Criterios de biodegradabilidad

El criterio general para seleccionar un polímero como material biodegradable considera tanto las propiedades mecánicas requeridas como el tiempo de degradación necesario para la aplicación particular. Las características de estos dos parámetros son:

a) *Propiedades mecánicas*: los factores que influyen en las propiedades mecánicas son la selección del monómero y del iniciador de reacción, la presencia de aditivos y las condiciones de procesado.

b) *Velocidad de degradación:*

- *Condiciones del medio:* temperatura, humedad y pH.
- *Características del polímero:* presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, hidrofiliicidad, estereoquímica, peso molecular, cristalinidad, superficie específica, temperatura de transición vítrea y de fusión.
- *Características de los microorganismos:* cantidad, variedad, fuente, actividad.

Mecanismos de degradación

Entre los mecanismos básicos de degradación de un polímero, se aceptan cinco básicos (figura 4).

- **Fotodegradación:** incluye los cambios físicos y químicos que se producen en el polímero debido a la irradiación del material con luz ultravioleta o visible; se pueden obtener polímeros fotodegradables introduciendo en su estructura grupos funcionales sensibles a la radiación ultravioleta (grupos carbonilo) o bien introduciendo aditivos, catalizadores y peroxidantes fotosensibles que aceleren el proceso de degradación.

- **Degradación mecánica:** es causada por los esfuerzos a los que se somete el material, ya que suelen ir acompañados de rotura de enlaces en la cadena principal.

- **Degradación térmica:** se refiere a casos en los que el polímero, a elevadas temperaturas, sufre cambios químicos sin la contribución de ningún otro factor, que no sea la energía térmica. Generalmente, es difícil distinguir entre la degradación térmica y la termoquímica, ya que el polímero raramente se encuentra en estado puro y las impurezas o aditivos pueden reaccionar con la matriz polimérica si la temperatura es bastante alta. En los últimos años se ha estado investigando sobre polímeros termoesestables, en los cuales no hay pérdida de propiedades con la temperatura. La forma de conseguirlos es aumentando la rigidez del polímero o aumentando la cristalinidad; esto se consigue mediante la inclusión de grupos rígidos en la cadena principal o con polímeros estereorregulares, que aumentan la temperatura de reblandecimiento.

- **Degradación química:** se refiere exclusivamente a procesos en los que la degradación es inducida por el contacto del polímero con productos químicos reactivos. En estos casos puede observarse una gran conversión, aunque sólo a elevadas temperaturas, debido a la energía de activación de dichas reacciones. Uno de los tipos de degradación química más frecuentes es la **degradación**

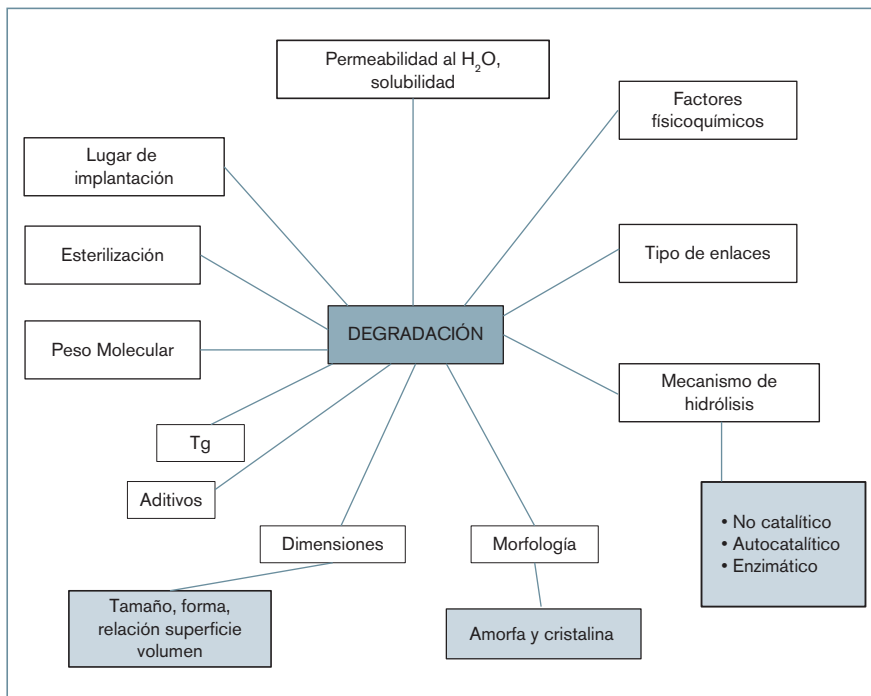


Figura 4. Diagrama de los factores que intervienen en la degradación del biopolímero.

hidrolítica, en la que la causa de la degradación es el contacto del material con un medio acuoso; la penetración del agua dentro de la matriz polimérica produce el hinchamiento, rotura de los puentes de hidrógeno intermoleculares, hidratación de las moléculas y, finalmente, la hidrólisis de los enlaces inestables.

- **Degradación mediante microorganismos (bacterias, hongos o algas):** dichos microorganismos producen una gran variedad de enzimas que son capaces de reaccionar con polímeros sintéticos y naturales. El ataque enzimático del material es un proceso químico inducido por la necesidad de encontrar alimento por parte de los microorganismos (la cadena principal de los polímeros es una fuente de carbono).

Polímeros biodegradables. Aplicaciones

En la tabla 1 se muestran algunas de las principales compañías que emplean polí-

meros biodegradables desde un punto de vista comercial.

Los polímeros biodegradables tienen un amplio abanico de aplicaciones dentro del campo del envasado, que quedan recogidas de forma gráfica en el diagrama de la figura 5.

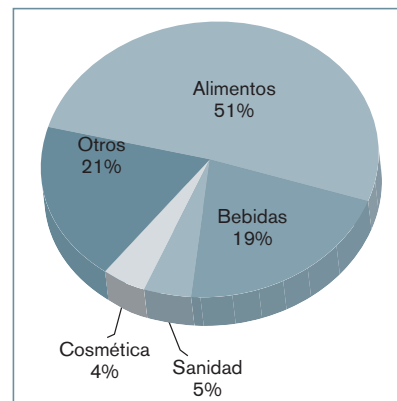


Figura 5. Aplicaciones de los polímeros biodegradables dentro del campo del envasado.

Tabla 1. Relación de firmas comerciales y sus polímeros sintéticos.

Compañía	Sede	Nombre comercial	Polímeros biodegradables
Novamont	Italia	Mater Bi	Almidón (60%) / alcohol polivinílico
BASF	Alemania	Ecoflex	Copoliéster
Biop	Alemania	Biopar	Almidón/poliestireno
Biotec	Alemania	Bioplast	Almidón/copoliéster
Natureworks	EE.UU.	Natureworks	Ácido poliláctico
P & G/Kaneka	EE.UU.	Nodax	PHA



Foto: Pictelia

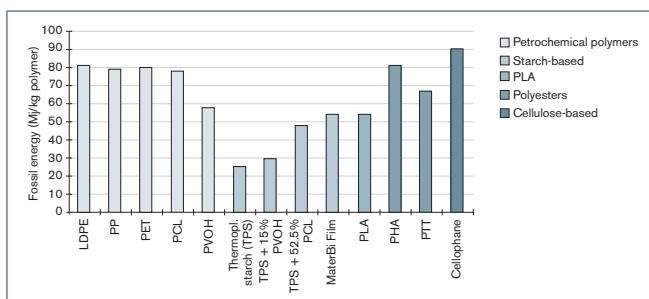


Figura 6. Consumo energético para la producción y procesado de diversos tipos de polímeros.

Plásticos convencionales	Plásticos biodegradables
Utilizan como materia prima recursos no renovables	Su producción es sostenible a partir de residuos de la agroindustria
Se acumulan en el ambiente	Se degradan fácilmente por la acción de microorganismos
Su reciclado puede generar sustancias tóxicas al medio ambiente	Su biodegradación produce O ₂ y H ₂ O

Tabla 2. Comparativa entre los plásticos convencionales y los plásticos biodegradables.

Ventajas de los polímeros biodegradables en la protección mediomambiental

Las principales ventajas, en clave de estrategia medioambiental, de los polímeros biodegradables con respecto a los plásticos convencionales, se resumen en la tabla 2. En ella se puede ver una comparativa de impacto medioambiental en la fase de producción y en el tratamiento de residuos.

Otro dato importante que hay que destacar con respecto al medio ambiente es que la utilización de polímeros biodegradables presenta menor consumo de energía no renovable con respecto a los plás-

ticos convencionales. Eso se puede ver en la figura 6, que muestra un diagrama de barras que detalla numéricamente los consumos energéticos para diversos casos de ambos tipos de plásticos.

Bibliografía

Baillie C (2004). *Green Composites, Polymer composites and environment*. Woodhead publishing limited, Cambridge, England.

Fritz HG, Seidenstucker T, Bolz U, and Juza M (1994). Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission..

Schnabel, W (1981). *Polymer degradation. Principles and practical applications*. Ed. Hanser, Múnich.

Stevens ES (2002). *Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics*. Princeton University Press, New Jersey.

David Aradilla Zapata

Ingeniero de Materiales por la Universidad de Barcelona (UB). Ingeniero técnico industrial por la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

Ramón Oliver Pujol

ramon.oliver@upc.edu
Doctor en Química. Catedrático del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (UPC).

Francesc Estrany Coda

francesc.estrany@upc.edu
Ingeniero técnico industrial por la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (UPC). Doctor en Química por la UB. Profesor contratado Doctor del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (UPC).