

Bacterias productoras de polímeros para su utilización como plásticos biodegradables

M^a Eugenia Ibáñez López

Resumen—El avance de las investigaciones científicas para desarrollar nuevas técnicas que satisfagan nuestras necesidades pero que a su vez, sean compatibles con el medio ambiente, está dando como resultado la investigación y el trabajo con bacterias que producen polímeros, como es el caso de los polihidroxicanoatos. Su utilización como plásticos sustitutos de los derivados del petróleo, al ser estos biodegradables, evita su persistencia en el medio y facilita todos los procesos de tratamiento, reciclaje etc., una vez que acaba su vida útil. De este modo se consigue una materia prima renovable y se obtienen productos degradables. Se podría decir pues, que cumple el séptimo y decimo mandamiento de la química verde.

Palabras Claves— Bacterias, Biodegradable, Plásticos-sustitutos, Polihidroxicanoatos, Renovable

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de materiales plásticos en la sociedad está a la orden del día, actualmente se consumen en torno a cuatro millones de toneladas de plásticos sólo en España [1], y debido a la mala separación que se realiza, no todos son tratados correctamente. Esto conlleva que una gran parte se acumule en el medioambiente, en parte también debido a la resistencia que presentan a la hora de poder ser degradados por microorganismos (biodegradación). La degradación puede tardar más de 500 años y en la mayoría de los casos no es completa, sino que se forman pequeñas partículas plásticas que quedan disponibles en el medio. En el caso de que el material se encuentre en el agua, además de provocar daños por ingestión o atragantamiento, se pueden acumular en el organismo (bioacumulación) y de esta forma pueden entrar en la cadena trófica (no obstante aún no se está seguro que esto pueda llegar a ocurrir). Asimismo los plásticos pueden acumular por adherencia compuestos químicos tóxicos como los derivados del fenol, que no son solubles en agua.

Los plásticos son materiales sintéticos obtenidos al tratar los átomos de carbono. Normalmente son derivados del petróleo, debido a sus propiedades, puesto que son impermeables, poseen una baja relación peso/volumen, y también son resistentes a diversos agentes físicos, químicos y biológicos. Todo esto sumado a que son de fácil producción y con un bajo coste asociado, hace que sean ampliamente usados. [2]

Estas son las razones por las que se están buscando alternativas a estos los plásticos derivados del petróleo, intentando generar plásticos degradables aunque con las mismas propiedades.

2. PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

2.1. Bioplásticos

Se trata de un plástico producido con materias primas

orgánicas renovables, con lo cual al final de sus vidas útiles se trata como residuos orgánicos, lo que facilita su gestión ya que son de fácil degradación y tiene lugar en un corto periodo de tiempo. El beneficio de este material ecológico, es que se trata de una sustancia fuerte y resistente que sirve de base para la elaboración de numerosos productos plásticos no contaminantes. La norma europea UNE 13432 especifica los requisitos y procedimientos para determinar la biodegradabilidad y compostabilidad de este material, por lo que debemos tener en consideración que no todos los plásticos biodegradables son compostables y viceversa. [6]

2.2. Polihidroxicanoatos (PHA)

Los PHA son polímeros naturales producidos por bacterias. Estos polímeros son generados como sustancias de reservas a partir de fuentes orgánicas por fermentación del azúcar o lípidos, como carbohidratos (glucosa o sacarosa) o hidrocarburos y son utilizados después bajo situaciones de estrés o carencia de algún tipo de nutriente. Con lo cual son una fuente de carbono y de energía. [2, 3, 5] Son poliésteres lineales formados por unidades o monómeros de hidroxiacilos polimerizados. (Figura 1). Se pueden confrontar diversos monómeros de bacterias para formar un PHA. (Figura 2)

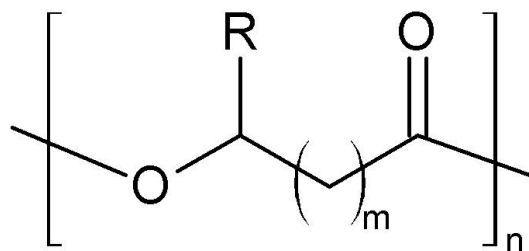


Fig. 1. Estructura PHA

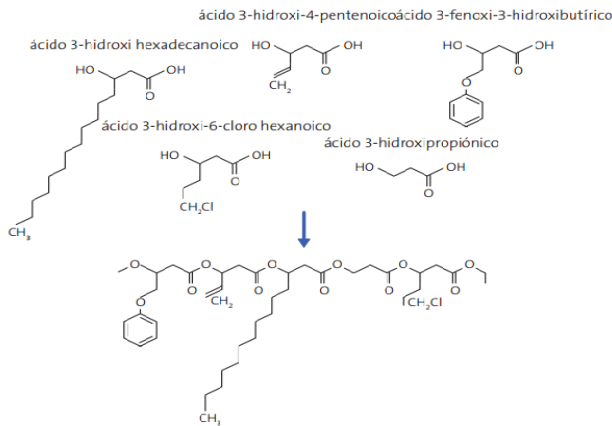


Fig. 2. PHA hipotético formado por monómeros encontrados en diversas bacterias.

Los polihidroxicanoatos más comunes que se pueden encontrar son: P3HB (ácido polihidroxibutírico), PLA (poliácido láctico o poliláctida), PGA (ácido poliglicólico), P3HV (poly(3-hidroxi valerato)), P(3-HHx) (poli(3-hidroxi hexanoato)). Dependiendo de la longitud de la cadena carbonatada lateral (R), podemos encontrar PHA: de cadena lateral corta, *scl*-PHA, si R contiene de 1-2 átomos de carbono, de cadena lateral media, *mcl*-PHA, si R contiene de 3 a 13 átomos de carbono y de cadena lateral larga, *lcl*-PHA, si R comprende más de 14 átomos de carbono. [3]

En función del tipo de cadena lateral y del grupo funcional, variarán las propiedades del polímero como el punto de fusión y la cristalinidad del bioplástico, lo cual determina el tipo de proceso que se requiere para tratarlo, obtenerlo y la aplicación final que éste puede tener. [2]

2.2. Bacterias productoras de PHA

Desde que Maurice Lemoigne descubrió en 1926 que la bacteria *Bacillus megaterium* produce el PHA denominado polihidroxi butirato (PHB), [2] se han encontrado más de 300 bacterias capaces de producir PHA.

Los PHA sintetizados intracelularmente se acumulan dentro de la célula bacteriana, en grandes cantidades y en forma de gránulos (Figura 3), llegando a constituir el 90% de la biomasa. (Tabla 1). La cantidad de polímero acumulado depende de la especie, la cepa y las condiciones en las que se cultiva en el laboratorio. Condiciones de desequilibrio en el aporte de nutrientes al medio o al caldo de cultivo donde se encuentran las bacterias, provocan un aumento de la producción. Para producir PHA, son condiciones favorables aquellas en las que hay una concentración alta de fuente de carbono (que la bacteria utilizará como materia prima para sintetizar el PHA), además existen limitaciones para el crecimiento, como los niveles de oxígeno bajos o la escasez de otros nutrientes. Por ello, cuando se da de comer en exceso a la bacteria pero de forma discontinua y desproporcionada, la bacteria, en vez de multiplicarse, “engorda” produciendo PHA de reserva. [2]

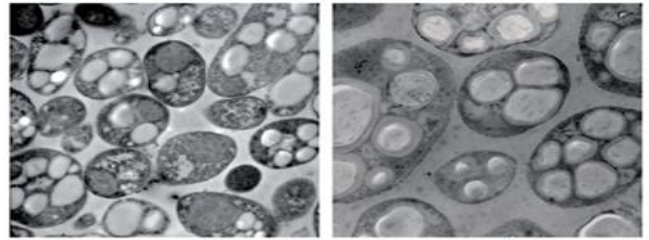


Fig. 3. Izquierda: gránulos de PHB (color claro) en cepa no mutante de la bacteria *Azotobacter vinelandii*. Derecha: cepa mutante de la misma bacteria. Se produce más PHB (gránulos más grandes), provocando que las bacterias aumenten de tamaño.

La producción de estos polímeros no se limita a un solo tipo de bacteria, sino que bacterias tanto Gram- como Gram+, pertenecientes a diversos géneros y especies son capaces de producirlos.

2.3. Degradación de los PHA

Ésta es una de las grandes ventajas y el punto fuerte de los PHA, ya que pueden ser degradados por microorganismos. Al igual que son producidos por bacterias, hay microorganismos que poseen técnicas especiales necesarias para poder degradarlos. Dado que las bacterias los producen como sustancias de reserva deben poder utilizarlos y para ello deben descomponerlos. Esto ocurre gracias a una enzima llamada *depolimerasa* que rompe el polímero obteniendo monómeros (hidroxialcanoatos). Estas moléculas de bajo peso molecular si pueden ser fácilmente asimiladas, no solo por estos organismos específicos, sino también por otro gran número de organismos que son capaces de degradar moléculas más simples. [5]

TABLA 1
ALGUNAS DE LAS BACTERIAS MÁS IMPORTANTES
PRODUCTORAS DE PHA

Bacterias que acumulan PHA	
Bacteria	% de peso seco
<i>Ralstonia eutropha</i>	96
<i>Rhodobacter</i>	80
<i>Azospirillum</i>	75
<i>Azotobacter</i>	73
<i>Methylocystis</i>	70
<i>Leptothrix</i>	67
<i>Pseudomonas</i>	67
<i>Baggiatoa</i>	57
<i>Rhizobium</i>	57

Fuente: <http://www.biopolymer.net>

Los microorganismos capaces de realizar este proceso son bacterias (Gram-, Gram+, actinobacterias), levaduras y hongos, los cuales se pueden encontrar en cualquier lugar, en el suelo o en el agua, y no necesitan unos requerimientos específicos, con lo cual, garantizando su presencia, se garantiza que se produzca la biodegradación. [2]

3. MODIFICACIÓN DE BACTERIAS

Al igual que la biodegradación es el gran punto fuerte de los PHA, el mayor inconveniente es que desde el punto de vista meramente económico a día de hoy no es competitivo. Esto ha incentivado la investigación en distintos tanto de producción como de síntesis, para lograr abaratar costes.

La modificación genética de cepas bacterianas es una de las alternativas estudiadas para hacerlos más competitivos. Los genes que contienen la información genética para la producción de PHA fueron aislados de *Wautersia eutropha* en 1988. Esos genes se han introducido en otras bacterias que no producen PHA, como *Escherichia coli*, volviéndolas productoras. [2]

Generalmente las bacterias productoras de PHA necesitan temperaturas relativamente bajas para crecer, su tiempo de generación es normalmente largo, es difícil romper la membrana celular (lisar) y poseen las enzimas necesarias para degradar el polímero acumulado. Es por esto que se utiliza *Escherichia coli* para producir PHA indirectamente. *E.coli* ha sido ampliamente estudiada y se conoce bastante bien, crece rápido, es fácil de lisar y manejar en el laboratorio y no puede degradar PHA. Por ello se han introducido los genes PHA de varias especies bacterianas y los genes necesarios para la síntesis de PHB de *Azotobacter* (phaB, phaA y phaC) en *E.coli*, obteniéndose buenos rendimientos en cuanto a la producción del polímero. Asimismo, al no poseer enzimas que degraden a los PHA, permite la acumulación de polímero con un elevado peso molecular. [4]

4. PANORAMA ACTUAL

Todavía queda mucho por estudiar acerca de los PHA, los resultados obtenidos en el laboratorio abren el camino para investigar la conexión entre los factores que regulan la degradación de PHA y las redes globales de adaptabilidad bacteriana al ambiente.

Para poder desarrollar un proceso de producción de PHAs mediante fermentación utilizando microorganismos, es necesario optimizar el rendimiento y la facilidad de purificación del polímero y fundamentalmente abaratar el coste de los sustratos utilizados para su obtención.

Existen varios procesos desarrollados para la producción de PHA por fermentación a partir de sustratos económicos: en Brasil se producen a partir de melaza de caña, y en Estados Unidos y Corea a partir de varios sustratos de origen vegetal. [4]

Sin embargo, las investigaciones actuales se centran en una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos, específicamente su capacidad para biodegradar total o parcialmente una amplia gama de

compuestos. [7] La sociedad está más interesada en intentar mitigar el problema que en solucionarlo de raíz, promoviendo la eliminación del plástico convencional. Es por esto, junto con la poca competitividad actual de los bioplásticos que las investigaciones no disponen de financiación suficiente que permita realizar avances sustanciales en este terreno.

5. CONCLUSIONES

Los plásticos derivados del petróleo, aunque son baratos de obtener, repercuten seriamente en el medioambiente. Por ello la reciente línea de investigación que gira en torno a los plásticos degradables debería ser una clara alternativa aunque actualmente se encuentre estancada. El coste de producción de los bioplásticos no es competitivo si se compara con los plásticos convencionales, pero se debería aprovechar la gran oportunidad que brindan los microorganismos al generar estos polímeros, ya sea mejorando las técnicas para sintetizarlos o modificando las cepas de bacterias productoras e incluso insertando los genes necesarios para la producción en otras bacterias, aportando un claro beneficio a la hora de obtener el polímero.

Si se abren nuevas líneas de investigación o se incrementan los esfuerzos en este campo, se logrará un abaratamiento de los costes, informando a las personas de que existe esta alternativa, puede haber un aumento de la demanda, lo que a su vez abarata costes y promueve la investigación. El trabajo en este campo da como resultado la adquisición de información y conocimientos que suponen un beneficio no solo en la mejora de este tipo de técnicas, sino que abre las puertas para poder colaborar con otras líneas de investigación que puedan estar relacionadas.

Una investigación paralela a ésta sería el estudio de bacterias degradadoras de hidrocarburos ya que ambas líneas de trabajo pueden complementarse, aunque una este más encaminada a la biorremediación y tratamiento posterior y otra a una acción anterior de prevención y reducción.

Así pues se consigue de manera directa una mejora del ambiente y la calidad de vida, con todo lo que ello conlleva.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por regalarme mi primer microscopio y a mis profesores que me estimularon a adentrarme en este mundo.

REFERENCIAS

- [1] Web mundoplast: <http://www.mundoplast.com/noticia/la-produccion-plasticos-espana-crecio-19-2011/67165>
- [2] SEGURA, ESPÍN, NOGUEZ, Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables, Biotecnología V14, México 2007. Capítulo 31

- [3] Web wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Polihidroxiclcanoato#cite_note-doi-2002-1
- [4] Web:
<http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/virginia/bacterias.htm>
- [5] Guo-Qiang Chen Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications. Microbiology Monographs
- [6] Web: <http://www.labioguia.com/notas/descubren-una-bacteria-clave-para-la-produccion-de-plastico-ecologico-en-bolivia>
- [7] [Oil biodegradation by microbial-plant associations]. Ivanova AA, Vetrova AA, Filonov AE, Boronin AM.



Mª Eugenia Ibáñez López miembro de la Universidad Pablo de Olavide, estudiando último curso del Grado en Ciencias Ambientales. Técnico superior en Salud Ambiental, por el Instituto Albert Einstein Sevilla.