

Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 7 - Número 13
Julio – Diciembre 2025
Maracaibo – Venezuela

PHA - La alternativa a los plásticos derivados del petróleo

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15843695>

S. Sánchez-Valdés *
A. A. Ramos Cabrera **
L. D. García Leija***
J. A. González-Rodríguez ****
J. G. Martínez-Colunga *****
J. Montañez-Sainz*****
M. L. Morales-Oyervides *****

RESUMEN

Los PHA o polihidroxialcanoatos son biopolíesteres sintetizados dentro de las células por algunos microorganismos como reservas de carbono y energía que, una vez extraídos de las células, presentan propiedades físicas similares a los plásticos derivados del petróleo, por ello son considerados como una alternativa significativamente alta a los productos derivados de este. Además de ser productos orgánicos, al ser producidos por microorganismos cuyos genes pueden ser modificados para aumentar el rendimiento de su producción, su aplicación en las ciencias biomédicas, en la agricultura o como productos combustibles, está siendo analizando con vistas a un futuro donde sea rentable su producción. En este artículo se pretende informar de los beneficios de los PHA, su producción, sus características, los avances tecnológicos, sus aplicaciones y propiedades, así como de su sostenibilidad y el futuro que se espera por su impacto ambiental, que es menor que el de los plásticos derivados del petróleo.

PALABRAS CLAVE: Química, Plásticos, Petróleo, Biopolíéster.

*Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd Enrique Reyna Hermosillo, 140, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. E-mail: saul@ciqa.mx

**Centro de Investigación en Química Aplicada, México.

***Centro de Investigación en Química Aplicada, México.

****Centro de Investigación en Química Aplicada, México.

*****Centro de Investigación en Química Aplicada, México.

*****Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7025-1337>.

***** Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0270-8382>.

Recibido: 05/03/2025

Aceptado: 08/05/2025

PHA - The Alternative to Petroleum-Derived Plastics

ABSTRACT

PHAs or polyhydroxyalkanoates are biopolyesters synthesized within cells by some microorganisms as carbon and energy reserves that, once extracted from the cells, have physical properties similar to petroleum-derived plastics, which is why they are considered a significantly higher alternative to petroleum-derived products. In addition to being organic products, since they are produced by microorganisms whose genes can be modified to increase the yield of their production, their application in biomedical sciences, in agriculture or as fuel products is being analyzed with a view to a future where their production is profitable. This article aims to report on the benefits of PHAs, their production, their characteristics, technological advances, their applications and properties, as well as their sustainability and the future that is expected due to their environmental impact, which is lower than that of petroleum-derived plastics.

KEYWORDS: Chemistry, Plastics, Petroleum, Biopolyester.

Introducción

Actualmente, reducir el uso de plásticos es imperativo para la sostenibilidad pues el uso de este material se ha convertido en una batalla medioambiental. El plástico se encuentra presente en todo el mundo, en todas partes, desde objetos de uso diario hasta equipo para trabajar. Los plásticos de un solo uso representan el 50% de los que se producen cada año. El 40% del plástico que se fabrica es para envases que se desechan tras un solo uso y se estima que 8 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año. Cientos de miles de mamíferos marinos y aves marinas mueren anualmente debido a la contaminación del plástico que llega hasta los mares. Reducir la huella de plástico es una misión complicada, pues recuperar el plástico que ha llegado a los océanos es muy difícil de recuperar. Sin embargo, es posible reducir el plástico que llega hasta el mar, o al menos fabricar un plástico que sea capaz de descomponerse de forma orgánica, convirtiéndose en alimento para las plantas y microorganismos presentes en los ecosistemas donde terminan estos productos.

Aunque fabricar un producto de estas características podría sonar demasiado bueno para ser verdad, hemos conseguido ser capaces de producirlo y estos son los PHA. Los

PHA son el resultado de que un microorganismo busque almacenar energía en forma de carbono y energía, permitiendo que estos carbonos tomen la forma de una cadena larga como si se tratara de un polímero. Dependiendo del microorganismo y la forma en que se encuentre conjugada su configuración genética, se pueden desarrollar diferentes tipos de cadenas de poliésteres para diversas funciones. Son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, en la industria médica y farmacéutica se utilizan para fijación y ortopedia. También se usan en films flexibles, membranas semipermeables, fibras y materiales de envase. Además de adhesivos y otros usos. Lo que más ha influenciado en el desarrollo de los PHA es la biodegradación paulatina del producto, que ya se ha estudiado con anterioridad y que se ha llegado a la conclusión de que se ve influenciado por las condiciones climáticas en las que se encuentre.

Los PHA no son perfectos. Si bien tienen la capacidad de realizar las mismas funciones que los derivados del petróleo, todavía se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, pues aún no es posible producirlos a escala industrial. Este es uno de los obstáculos que se presentan ante la fabricación de PHA. Aún así, se siguen investigando diversos métodos para su elaboración. Siempre enfocados en perfeccionar el proceso, ya sea a través de nuevas cepas, nuevos cultivos o nuevas tecnologías.

1. ¿Qué son los PHA y cómo se producen?

En primer lugar, los polihidroxialcanoatos (PHA), son una familia de poliésteres respetuosos con el medio ambiente que pueden ser sintetizados por una amplia gama de microorganismos como bacterias Alcalígenes, Pseudomonas y E. coli recombinante, donde se acumulan como reserva de carbono y energía (Li, R. 2006). También se ha demostrado su producción en plantas transgénicas a escala de laboratorio, con potencial para producción a gran escala (Lee, S. Y. 1995).

La diversidad de la composición y la estructura de los PHA (Figura 1) han dado lugar a diversas propiedades y aplicaciones infinitas para formar una cadena de valor de PHA. Al controlar la composición monomérica, se pueden ajustar las propiedades físicas de los PHA. Han sido considerados como una alternativa a los productos químicos derivados del petróleo y a pesar de su potencial, su alto costo de producción limita su aplicación industrial. La producción industrial de PHA se ha establecido por más de 20 empresas en todo el mundo. Con los avances en biología sintética y de sistemas, también se discuten estrategias para

resolver problemas urgentes que limitan la comercialización de los PHA. Se espera que avances en fermentación, procesamiento, desarrollo de cepas recombinantes y uso de plantas transgénicas reduzcan los costos, haciendo a los PHA más competitivos (Khanna, S. 2005).

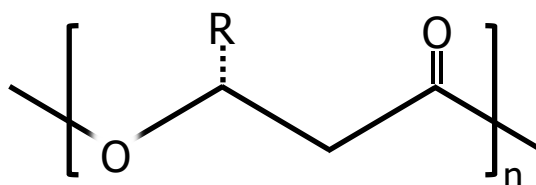


Figura 1. Estructura General de los polihidroxialcanoatos (PHAs)

Debido a esto, la biotecnología industrial de próxima generación (NGIB) basada en *Halomonas spp.*, que son bacterias extremófilas de rápido crecimiento y resistentes a la contaminación, ofrece soluciones innovadoras: fermentaciones abiertas, no estériles y continuas que permiten una producción de bajo costo y propiedades estables de los PHA. Además, el uso de biología sintética en estas especies facilita la acumulación de PHA intracelulares, su separación por gravedad y la coproducción de productos extracelulares solubles, mejorando la viabilidad económica. Este enfoque promete superar las limitaciones actuales y lograr la producción comercial exitosa de PHA.

2. ¿Cuáles son sus aplicaciones?

Los PHA tienen propiedades muy similares a las de los plásticos sintéticos. El consumo de estos materiales ha ido incrementando en diferentes aplicaciones, en especial en empaque y en bienes de consumo (Figura 2). Las propiedades únicas que los convierten en materiales deseables para aplicaciones biomédicas son su biodegradabilidad, biocompatibilidad y no toxicidad (Ray, S. 217). Se ha comprobado que los PHA son adecuados para diversas aplicaciones médicas: agentes de biocontrol, portadores de fármacos, implantes biodegradables, ingeniería de tejidos, potenciadores de la memoria y agentes anticancerígenos. Existen retos para la producción a escala industrial de los PHA, pero es posible la optimización de sus propiedades físicas y químicas, y se plantean futuros

avances, como su uso en terapia del cáncer y tratamiento de desórdenes metabólicos (Muller, E. 2014).

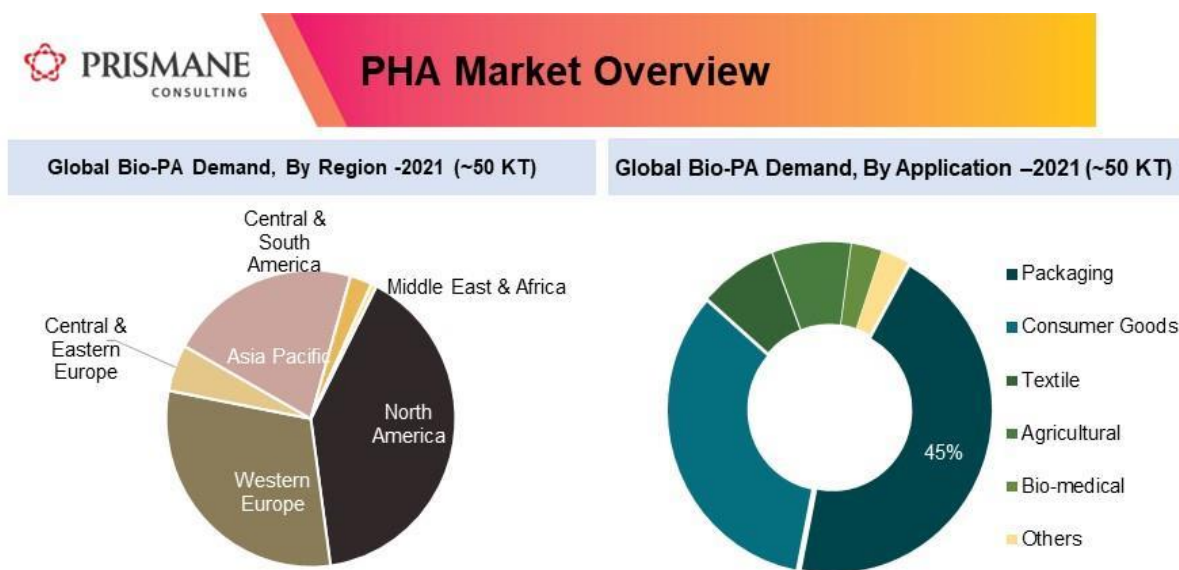


Figura 2. Demanda de PHAs a nivel global (Panigrahi 2023)

3. ¿Cómo pueden ser sostenibles y reducir su impacto en el medio ambiente?

En la búsqueda de alternativas más sostenibles a los plásticos convencionales, los polihidroxicanoatos (PHA), como el poli(3-hidroxibutirato) (PHB) y sus copolímeros con ácido 3-hidroxivalérico (3HV), se han posicionado como una opción prometedora gracias a sus propiedades biodegradables y termoplásticas. Un estudio reciente muestra cómo el PHB y sus copolímeros se degradan en distintos entornos naturales, tanto en suelos, aguas como en compost, bajo condiciones controladas de laboratorio y al aire libre. Se analizaron también factores como la temperatura, el tiempo de exposición y el contenido de 3HV en los copolímeros influyen en su velocidad de descomposición (Mergaert, J. 1992).

Los resultados fueron claros:

- Mayor degradación en copolímeros: Los plásticos con mayor contenido de 3HV (10% y 20%) se degradaron más rápido que el PHB puro.

- El ambiente importa: La tasa de degradación varió según el entorno, siendo más rápida en condiciones cálidas. La temperatura fue un factor clave para acelerar el proceso.
- Microorganismos protagonistas: La descomposición fue llevada a cabo por una amplia variedad de microorganismos, incluidos bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, estreptomicetos y mohos.

Estos hallazgos demuestran que los bioplásticos como el PHB y sus copolímeros no solo son biodegradables, sino que pueden descomponerse de manera eficiente en condiciones naturales. Esto refuerza su viabilidad como una solución ecológica frente a la contaminación por plásticos. Además, ajustar la composición del bioplástico, como el contenido de 3HV, podría ayudar a optimizar su degradación según el entorno donde se utilicen (Tan, D. 2017,2021).

Conclusión

Los Polihidroxialcanoatos (PHA) representan una alternativa prometedora y sostenible a los plásticos tradicionales, gracias a su capacidad de biodegradación y sus propiedades biocompatibles. La producción de PHA mediante *Escherichia coli* y otras bacterias, apoyada en la ingeniería de vías metabólicas y tecnologías avanzadas de fermentación, ofrece una vía viable para la fabricación de bioplásticos a partir de recursos renovables.

Los PHA pueden ser sintetizados por una amplia gama de microorganismos, acumulándose como reservas de carbono y energía, y poseen propiedades físicas que los hacen adecuados para una variedad de aplicaciones, desde biomédicas hasta industriales. La flexibilidad en la producción de copolímeros, como poly(3HB-co-3HV) y poly(3HB-co-4HB), amplía aún más su potencial de uso (Możejko-Ciesielska, J. 2016).

Las mejoras en las estrategias de fermentación, incluyendo el uso de sustratos económicos como la melaza de remolacha y el suero de leche, han permitido incrementar las tasas de producción de PHB en *E. coli*. Además, la recuperación y purificación de PHA se han optimizado mediante métodos más económicos y eficientes, como la digestión con NaOH y KOH y el uso de sistemas automáticos de liberación de PHA (Reddy, C. 2003).

La biodegradabilidad de los PHA, como el PHB y sus copolímeros con 3HV, en diversos entornos naturales, refuerza su viabilidad como solución ecológica frente a la contaminación por plásticos. Estos bioplásticos se degradan de manera eficiente bajo condiciones naturales, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental.

A pesar de los desafíos restantes, como el alto costo de producción y la necesidad de más investigación para optimizar procesos, los avances en biotecnología industrial y biología sintética prometen superar estas barreras. La producción de PHA basada en bacterias como *Halomonas spp.* ofrece soluciones innovadoras que podrían hacer más competitiva la fabricación de estos bioplásticos.

Referencias

Khanna, S., & Srivastava, A. K. (2005). Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. *Process Biochemistry*, 40(2), 607–619. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.01.053>

Lee, S. Y. (1995). Bacterial polyhydroxyalkanoates. Department of Chemical Engineering and BioProcess Engineering Research Center, Korea Advanced Institute of Science and Technology. Received March 7, 1995 / Accepted July 14, 1995.

Li, R., Zhang, H., & Qi, Q. (2007). The production of polyhydroxyalkanoates in recombinant *Escherichia coli*. *Bioresource Technology*, 98(12), 2313–2320. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.014>

Mergaert, J., Anderson, C., Wouters, A., Swings, J., & Kersters, K. (1992). Biodegradation of polyhydroxyalkanoates. *FEMS Microbiology Reviews*, 9(2–4), 317–322. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1992.tb05837.x>

Możejko-Ciesielska, J., & Kiewisz, R. (2016). Bacterial polyhydroxyalkanoates: Still fabulous? *Microbiological Research*, 192, 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.07.010>

Muller, E. E. L., Sheik, A. R., & Wilmes, P. (2014). Lipid-based biofuel production from wastewater. *Current Opinion in Biotechnology*, 30, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.03.007>

Panigrahi, R. Polyhydroxyalkanoates (PHA) Market Dynamics and Demand Analysis. Prismane Consulting. 2023 <https://prismaneconsulting.com/blog-details/polyhydroxyalkanoates-pha-market-dynamics-and-demand-analysis>

Ray, S., & Kalia, V. C. (2017). Biomedical applications of polyhydroxyalkanoates. *Indian Journal of Microbiology*, 57(3), 261–269. <https://doi.org/10.1007/s12088-017-0651-7>

Reddy, C. S. K., Ghai, R., Rashmi, & Kalia, V. C. (2003). Polyhydroxyalkanoates: An overview. *Bioresource Technology*, 87(2), 137–146. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00212-2)

Tan, D., Wang, Y., Tong, Y., & Chen, G.-Q. (2021). Grand challenges for industrializing polyhydroxyalkanoates (PHAs). *Trends in Biotechnology*, 39(9), 953–963. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.11.010>

Tan, D., Yin, J., & Chen, G.-Q. (2017). Production of polyhydroxyalkanoates. In A. Pandey, S. Negi, & C. R. Soccol (Eds.), *Current developments in biotechnology and bioengineering* (pp. 655–692). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63662-1.00029-4>

The Pew Charitable Trusts & SYSTEMIQ. (2020). Rompiendo la ola de plástico: Una evaluación integral acerca de las vías para frenar la contaminación del océano por plástico. The Pew Charitable Trusts. <https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2020/07/spanishbtpwsingleshigh.pdf>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Copyright

La Revista Latinoamericana de Difusión Científica declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

