

Sección: Concientifica

Los bioplásticos, una opción ecológica, pero con grandes retos industriales

Bioplastics, an ecological option, but with major industrial challenges

Faustino Espín-González*
Deyanira Ochoa-Vasquez
Juan Pablo Archundia-Carreño

Departamento de Ingeniería Química Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos, México.

**Autor para la correspondencia: faustino.eg@zacatepec.tecnm.mx*

RESUMEN

Este artículo analiza el plástico como un material útil y económico de producir, pero de gran impacto ambiental. Frente a ello, plantea a los bioplásticos como una alternativa viable para reemplazar parcialmente el plástico convencional. Asimismo, revisa los métodos más comunes para obtener bioplásticos y los retos de escala industrial que limitan su uso en la misma magnitud que los plásticos convencionales.

Palabras clave: Bioplásticos, viabilidad industrial y sustentabilidad.

SUMMARY

This article addresses how plastic is a highly useful and economical material to produce yet carries a major environmental impact. It then proposes bioplastics as a viable alternative for partially replacing conventional plastic. Furthermore, it analyzes the most common methods for obtaining bioplastics and the industrial-scale challenges that limit them from being used on the same scale as conventional plastics.

Keywords: Bioplastics, industrial viability, and sustainability.

Es difícil imaginar un solo día sin utilizar plástico. Desde los envases de alimentos hasta los componentes de satélites, este material forma parte de prácticamente todos los sectores de la sociedad. Su versatilidad, resistencia y bajo costo de producción lo han convertido en uno de los grandes logros de la ingeniería de materiales; sin embargo, su uso masivo desde el siglo XX ha generado un costo ambiental creciente. Por ello, plantear su eliminación total, ya sea de golpe o de forma gradual, no es una opción viable. Las razones son múltiples, abarcando desde pérdidas económicas en casi toda la industria hasta el rechazo social a renunciar a un material tan cotidiano.

Una opción que suele plantearse cuando se habla de la contaminación de los polímeros es el reciclaje, pero se enfrenta a múltiples problemas sociales. Uno a destacar es la falta de información o la desidia de la población. En el ámbito industrial, destinar una inversión elevada al reciclaje de los propios productos plásticos no siempre se considera viable por los costos iniciales; a ello se suma que los plásticos termoestables y multicapa no pueden procesarse mecánicamente.

Dadas las dificultades para eliminar el plástico de la vida cotidiana y, al mismo tiempo, su innegable eficiencia, nos encontramos ante una encrucijada. Ante este panorama surge una pregunta central. ¿Es posible conservar las ventajas de este material sin mantener su elevado impacto ambiental? Frente a este reto, los bioplásticos biodegradables surgen como una alternativa prometedora para conciliar ambas necesidades, ya que conservan buena parte de los beneficios del plástico al tiempo que reducen su impacto ecológico. Cumpliendo ciertas condiciones pueden resultar competitivos en costo y, a futuro, constituir una opción primordial.

¿Qué define a un plástico biodegradable?

Aunque solemos pensar que todos los bioplásticos son biodegradables, en realidad ambos conceptos no significan lo mismo. Para aclarar esta diferencia, resulta útil acudir a la definición formal, de acuerdo con la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), los plásticos biodegradables son aquellos que se descomponen gracias a la actividad metabólica de los microorganismos. Durante toda su cadena productiva, desde la manufactura hasta el consumo, estas estructuras poliméricas mantienen su integridad física. Es al término de su vida útil cuando, expuestas a condiciones ambientales y biológicas, experimentan transformaciones químicas que las reducen progresivamente a moléculas más simples, capaces de reintegrarse al ciclo natural [1].

Los bioplásticos constituyen una categoría de materiales poliméricos orientados a disminuir la dependencia de los derivados fósiles. Su definición considera dos atributos independientes o combinados. El primero es el origen biológico de sus precursores, como almidones de cereales o tubérculos (Ilustración 1), o bien compuestos obtenidos mediante fermentación microbiana; y el segundo es la capacidad de ser degradados por la actividad de microorganismos, generando como productos finales agua, CO₂ y biomasa en tiempos significativamente menores que los polímeros petroquímicos (aquellos sintetizados a partir de materias primas de origen fósil, como el petróleo y el gas natural).

La producción de plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables como el maíz, la papa o la yuca se ha consolidado como una de las alternativas más prometedoras frente a los polímeros fósiles. El almidón destaca como el biopolímero natural más utilizado debido a su abundancia y bajo costo de procesamiento, mientras que el PLA (ácido

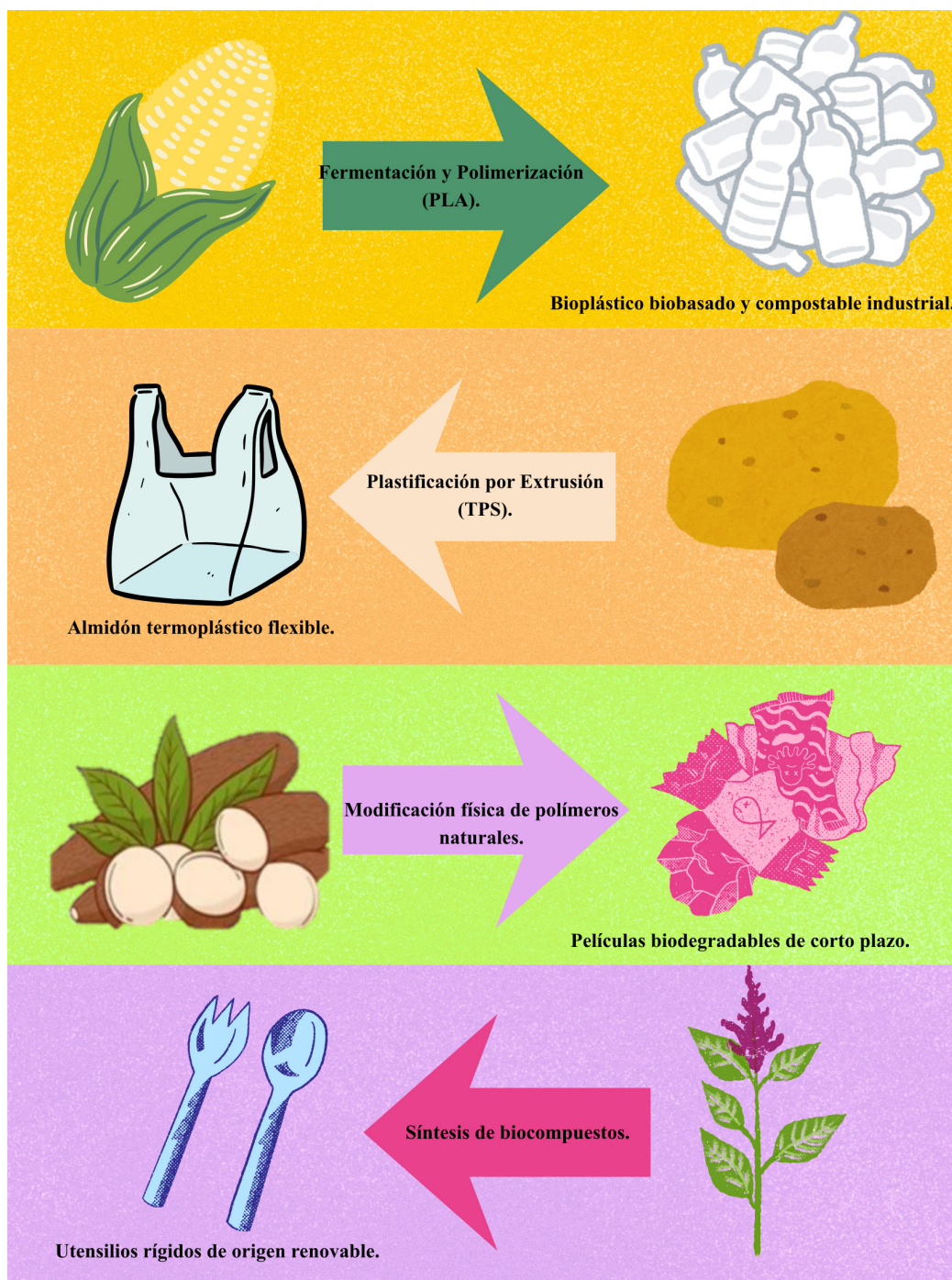


Figura 1. Distintas fuentes de biomasa (maíz, papa, amaranto) empleadas para fabricar bioplásticos. La imagen ilustra su origen renovable, no su biodegradabilidad. Un plástico de origen vegetal no es, por ese solo hecho, biodegradable.

poliláctico) representa el referente de síntesis a escala industrial. Con las condiciones biológicas adecuadas, estos materiales logran una descomposición prácticamente completa mediada por microorganismos y enzimas, como la α -amilasa, en lapsos cortos en comparación con las resinas de origen petroquímico [2].

Rutas de producción

La elección de cómo fabricar un bioplástico determina tanto sus propiedades finales como su viabilidad en el mercado. Actualmente, existen tres rutas convencionales para la producción industrial de bioplásticos.

1. Extracción directa y modificación física de polímeros naturales (almidón termoplástico, TPS)

Esta es una de las vías más directas y económicas. Consiste en aislar polímeros ya sintetizados por la naturaleza en la biomasa vegetal, concretamente el almidón. Se basa en la gelatinización y desestructuración del gránulo. Los gránulos de almidón nativo son insolubles en agua fría debido a su estructura semicristalina de amilosa y amilopectina. Para procesarlos, se someten a un tratamiento hidrotérmico. Se mezclan con agua y un agente plastificante, comúnmente glicerol o sorbitol, en condiciones de alta temperatura y cizallamiento mecánico, proceso conocido como extrusión. El calor rompe los puentes de hidrógeno intermoleculares del almidón, permitiendo que las moléculas del plastificante se intercalen entre las cadenas poliméricas. Este proceso de transformación física desestructura el gránulo y provoca la gelatinización (Ilustración 2), transformándolo en un material amorfo, flexible y moldeable conocido como almidón termoplástico (TPS).

Los TPS presentan varios atributos, además de ser biodegradables, son renovables y flexibles, y pueden procesarse con los mismos métodos estándar de la industria de polímeros sintéticos, tales como moldeo por inyección, extrusión-soplado, moldeo por compresión, extrusión de película plana y termoformado [3].

2. Síntesis por fermentación bacteriana (polihidroxialcanoatos, PHA)

En esta ruta se emplean microorganismos que actúan como fábricas celulares y sintetizan el plástico en su interior [4]. En términos generales, el proceso consiste en cultivar cepas bacterianas específicas como *Cupriavidus necator* o el género *Pseudomonas* en biorreactores, alimentándolas con fuentes de carbono como azúcares, ácidos grasos o glicerol residual [4]. Cuando el cultivo alcanza una alta densidad celular, se altera intencionalmente el



Figura 2. Proceso de obtención del almidón termoplástico (TPS), desde el gránulo de almidón nativo hasta el material amorfo, flexible y moldeable. Las etapas muestran que se trata solo de una transformación física del almidón, sin cambiar su composición química.

medio limitando un nutriente esencial como el nitrógeno o el fósforo, pero manteniendo un exceso de carbono [4]. Ante este estrés, las bacterias entran en una fase estacionaria, es decir, detienen su replicación y desvían su metabolismo para almacenar el exceso de carbono en forma de gránulos intracelulares de polihidroxialcanoatos (PHA), un poliéster lineal que les sirve como reserva de energía [4]. A nivel macromolecular, como se observa en la

Ilustración 3, este polímero puro se organiza en un núcleo central protegido por una membrana lipídica, en cuya superficie se anclan enzimas polimerasas y despolimerasas responsables de la síntesis y degradación del material. Finalmente, se realiza una lisis celular, proceso que rompe la membrana de la bacteria, y una extracción con solventes o enzimas para recuperar el polímero puro [4]. Cabe destacar que estos poliésteres también pueden ser sintetizados por arqueas y microalgas [4]. Mecánicamente, presentan un comportamiento similar al de las resinas petroquímicas (que derivan del refinamiento de fuentes fósiles), como el polipropileno o el polietileno; sin embargo, a diferencia de estas, los PHA se producen a partir de sustratos renovables, no generan respuestas tóxicas en sistemas biológicos (son biocompatibles) y son susceptibles a la degradación por microorganismos de distintos ecosistemas, ya sean terrestres, marinos o acuáticos [4].

3. Síntesis química a partir de monómeros bio-

derivados (ácido poliláctico, PLA)

Esta es una ruta mixta que combina una etapa de fermentación con una etapa de polimerización. En la primera etapa, de fermentación, se toman carbohidratos simples como glucosa o sacarosa de caña o maíz, y se fermentan utilizando bacterias lácticas como *Lactobacillus*, para producir ácido láctico de alta pureza [5]. A continuación, en la etapa de polimerización, el ácido láctico se oligomeriza y se somete a una despolimerización catalítica (reacción de *back-biting*) para formar un dímero cíclico, el láctido. Finalmente, mediante un proceso de polimerización por apertura de anillo (ROP) mediado por catalizadores y calor, se eslabonan los láctidos para formar las largas cadenas de ácido poliláctico (PLA) (Ilustración 4) [6].

En conclusión, mientras que la ruta del almidón destaca por su accesibilidad y bajo costo, la síntesis por fermentación bacteria-

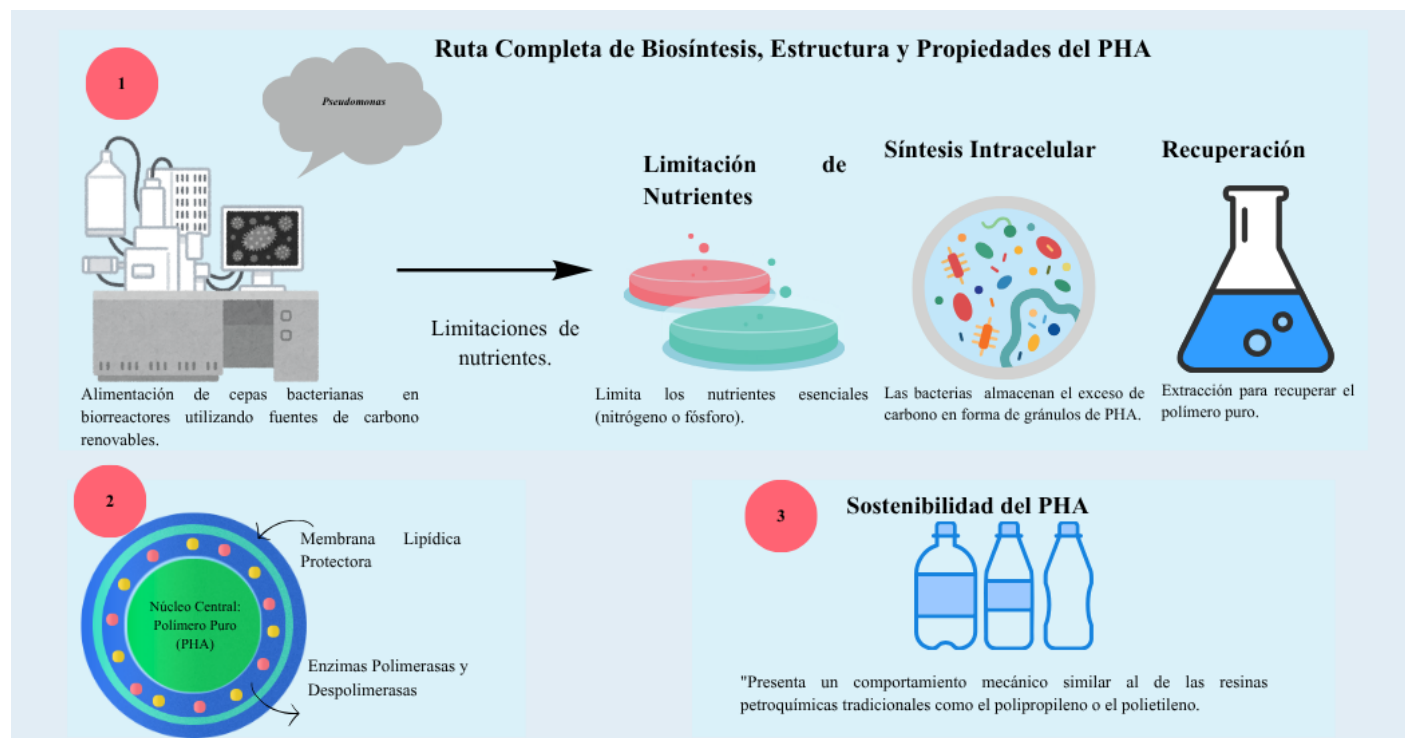


Figura 3. Ruta biotecnológica de producción del PHA, desde el cultivo bacteriano bajo estrés nutricional hasta la recuperación del polímero, junto con su estructura celular y sus propiedades mecánicas. En esta ruta el plástico se sintetiza y se almacena dentro de la propia bacteria.

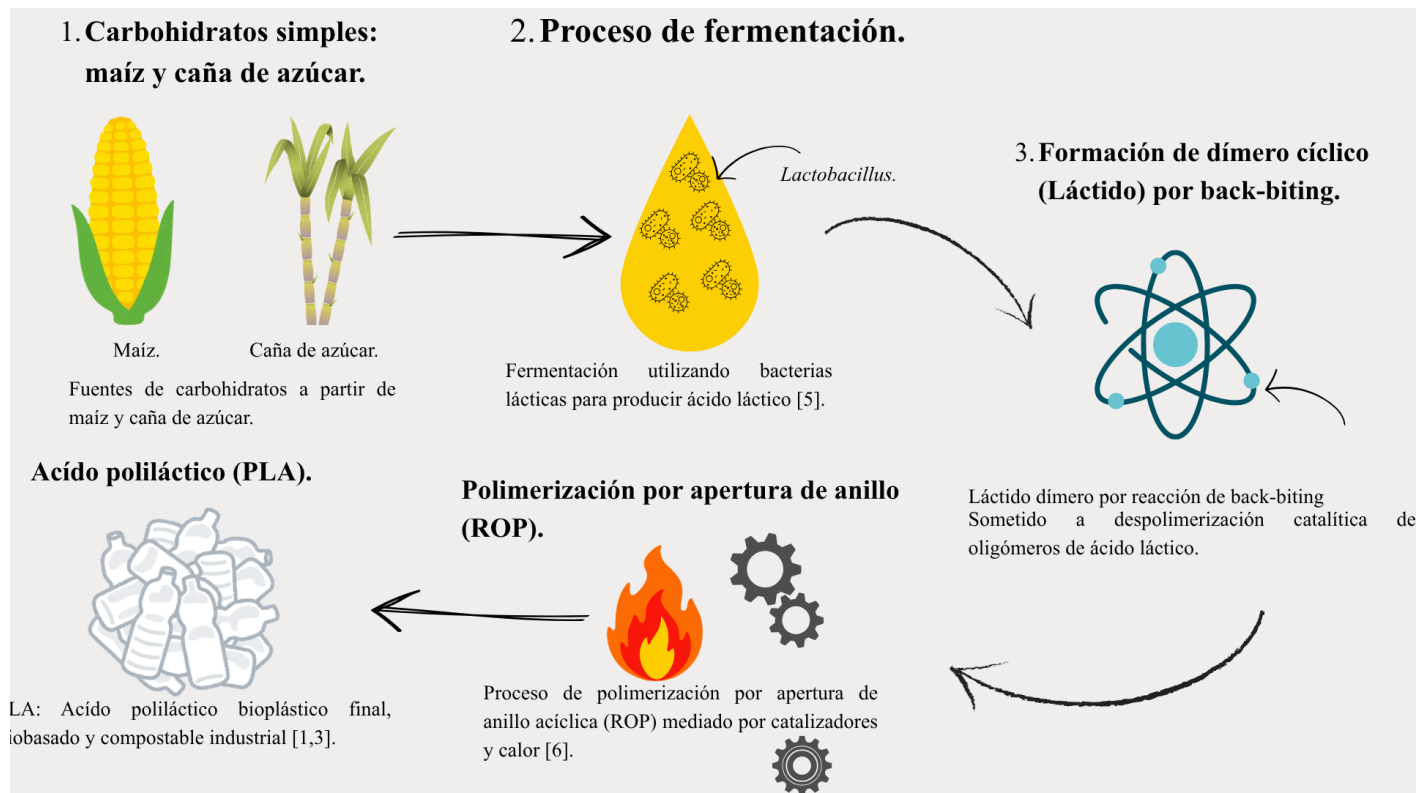


Figura 4. Ruta mixta de síntesis del PLA, con una etapa 1 de fermentación biológica para obtener ácido láctico y una etapa 2 de polimerización química por apertura de anillo hasta el ácido poliláctico. Combina un paso biológico y uno químico, de ahí que se llame semisintética.

na ofrece una pureza y biocompatibilidad superiores, aunque a un costo energético más elevado. Comprender estas diferencias en sus procesos de obtención es clave, ya que cada método define las ventajas y limitaciones que estos materiales enfrentarán al intentar dar el gran salto del laboratorio a las líneas de producción masiva.

Retos industriales

Los bioplásticos pueden ser una pieza esencial para una transición hacia una economía más sostenible y circular, pero su adopción enfrenta aún múltiples retos [7]. Las razones principales por las que la industria todavía no los adopta de forma masiva son los factores económicos, las limitaciones en sus propiedades mecánicas y la llamada falacia de la biodegradabilidad [7]. Un ejemplo muy

claro de estas limitaciones mecánicas se ve en los empaques de alimentos o bolsas de supermercado actuales, las cuales suelen romperse con facilidad al cargarse o no protegen bien los productos contra la humedad en comparación con el plástico convencional.

La principal barrera es económica. Producir bioplásticos como el PLA o los PHA es entre 1.5 y 2 veces más costoso que el plástico convencional. Esto se debe a que la industria del petróleo cuenta con una infraestructura optimizada durante más de un siglo, cuya madurez tecnológica y consolidación de economías de escala permiten producir volúmenes gigantes a costos extremadamente bajos. Por otra parte, las deficiencias del producto hacen que los bioplásticos biodegradables convencionales no cumplan con los estándares de resistencia que exigen las líneas de envasado industrial automatizadas, como ocurre con la

sensibilidad a la humedad y a la temperatura de los TPS o el PLA.

Por último, suele asumirse que un bioplástico se degradará por sí solo con el paso del tiempo; esto constituye la llamada falacia de la biodegradabilidad [7]. Es fundamental aclarar que “biodegradable” y “compostable” no son términos equivalentes, mientras que lo biodegradable se descompone por acción de microorganismos en tiempos variables, lo compostable requiere transformarse en abono en un plazo específico y bajo un entorno determinado. Las empresas saben que un plástico etiquetado con estas propiedades no se degradará por completo si se descarta en la basura común, el suelo o el mar [7]. En realidad, muchos de estos materiales se degradan únicamente mediante condiciones de compostaje industrial, con temperatura y humedad controladas, conforme a normas como la EN 13432 o la ASTM D6400, y no en un entorno natural [7].

Consideraciones finales

El plástico no debe abolirse, sino transformarse para conservar sus propiedades sin comprometer el medio ambiente. No obstante, desde una perspectiva realista, esta transición será lenta, quizá tanto que sus efectos tardan en reflejarse frente al ritmo del deterioro ambiental. Los bioplásticos, aunque ofrecen una respuesta parcial, no resuelven por completo un problema de gran complejidad. Una vía intermedia sería optimizar la infraestructura de producción de los bioplásticos, como ya ocurrió con la de los plásticos convencionales; pero si esta tomó cerca de un siglo, ¿cuánto tardará un proyecto de semejante magnitud para los bioplásticos?

Referencias

- [1] Escudero Castejón, L. (2011). Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos [Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional UPCT. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/2001>
- [2] Mena Pástor, P. G., Vaca Ulloa, K. E., & Mena Pástor, J. A. (2025). Bioplásticos y su impacto ambiental: producción a partir de fuentes renovables y comparación con plásticos convencionales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 7432–7448. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16641
- [3] Jiménez Sánchez, V., & Olvera Romo, A. (2014). Obtención y caracterización de almidones termoplásticos (TPS) [Tesis de licenciatura no publicada]. Facultad de Química, *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- [4] González García, Y., Meza Contreras, J. C., González Reynoso, O., & Córdova López, J. A. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(1), 77–115. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992013000100007>
- [5] Álvarez da Silva, L. (2016). Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxialcanoatos [Trabajo Fin de Grado]. Departamento de Química Orgánica y Farmacéutica, *Universidad de Sevilla*. <https://idus.us.es/bitstream/146b3bd4-6f3c-40b2ad51-ff028be4e6ed/download>
- [6] Hwang, E., Yang, Y.-H., Choi, J., Park, S.-H., Park, K., & Lee, J. (2025). Biodegradable plastics as sustainable alternatives: Advances, basics, challenges, and directions for the future. *Materials*, 18(18), 4247. <https://doi.org/10.3390/ma18184247>
- [7] Possidónio, C., Marreiros, C., & Santos, M. (2025). Bioplastics, from promise to reality: Policy recommendations to accelerate industry adoption. *Open Research Europe*, 6, 36. <https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/6-36>