

Bioplásticos y plásticos degradables

Alethia Vázquez Morillas
Rosa Ma. Espinosa Valdemar
Margarita Beltrán Villavicencio
Maribel Velasco Pérez

Los plásticos, gracias a su versatilidad, ligereza y bajo costo, se han convertido en materiales insustituibles. Se usan en aplicaciones tan diversas como el envase y embalaje, la medicina, la fabricación de automóviles y las telecomunicaciones [1]. Constituyen, además, el principal componente en muchos objetos de uso cotidiano. Los cambios en el estilo de vida, especialmente en los patrones de uso y consumo, han llevado a un incremento continuo en la producción de estos materiales. En 2012 se estimó una producción mundial de 241 millones de toneladas [2], y se espera que supere los 300 millones de toneladas para 2015 [3].

El incremento en el consumo, aunado a su uso en productos de corta vida útil, ha generado una preocupación de los efectos ambientales de los plásticos a lo largo de su ciclo de vida [4]. Dado que la gran mayoría de los plásticos se producen a partir del procesamiento de los combustibles fósiles, se ha cuestionado su contribución al agotamiento de estos recursos y a los efectos ambientales de su extracción. El otro punto de atención es lo que ocurre con los plásticos cuando se transforman en residuos. Dada la carencia de mecanismos y programas efectivos de separación en la mayor parte del país, la mayoría de los residuos plásticos son depositados en los sitios de disposición final, contribuyendo a la problemática generada en este tipo de instalaciones. En México los plásticos constituyen el 12.88% de los residuos [5].

Se han propuesto diversas alternativas para mitigar los impactos ambientales de los plásticos, tales como el reciclaje o el aprovechamiento energético, que son soluciones de fin de vida. Sin embargo, una vertiente que ha despertado especial atención es la fabricación de nuevos plásticos con menores afectaciones en el ambiente. Como resultado, es común escuchar términos como bioplástico, plástico verde, plástico biodegradable, plástico amigable con el ambiente, plástico biobasado o biopolímero, que con frecuencia se utilizan de forma indistinta y sin un conocimiento real de su significado e implicaciones. El objetivo de este artículo es, por tanto, definir los conceptos de bioplástico, plástico biobasado y plástico biodegradable, de forma que los fabricantes, usuarios, gobiernos e instituciones cuenten con un mayor conocimiento al respecto y puedan tomar decisiones informadas.

¿Qué son los bioplásticos?

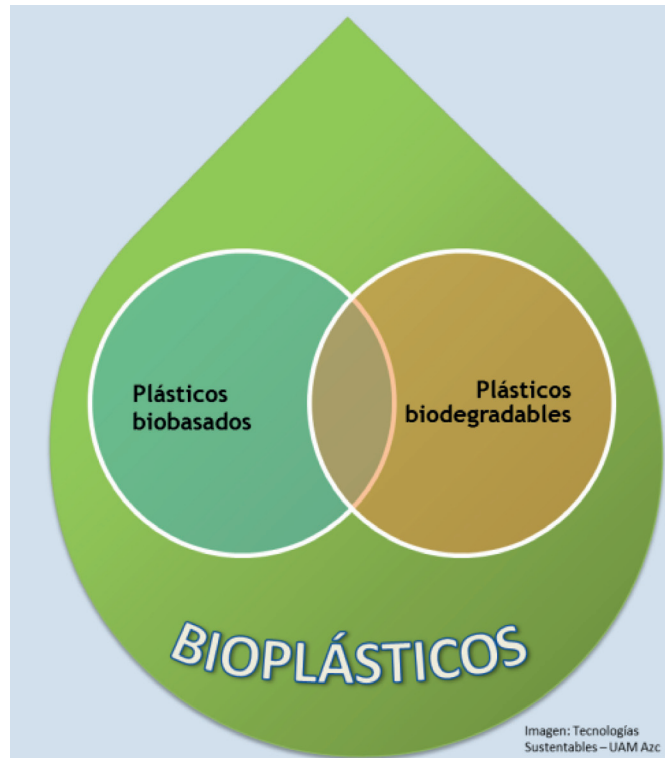
La organización European bioplastics define a los bioplásticos como plásticos que son bio-basados, biodegradables, o que reúnen ambas características [6]. Esta definición ha sido retomada en el anteproyecto de norma mexicana PROY-NMX-E-260-CNCP-2013 Industria del plástico – Materiales bioplásticos – Terminología [7], que establece lo siguiente:

Bioplástico: plástico que en su constitución total proviene de:

- a) Materias primas de origen renovable y es biodegradable
- b) Materias primas de origen renovable y no es biodegradable, o
- c) Materias primas de origen petroquímico y es biodegradable

Contrario a lo que generalmente se cree, los bioplásticos no son algo nuevo; fueron usados por Henry Ford en la fabricación del automóvil modelo T [8] y se han empleado ampliamente en aplicaciones médicas. Lo novedoso es el interés que han despertado como una opción de mitigación del impacto ambiental provocado por los plásticos convencionales.

Actualmente el 65% de los bioplásticos se utiliza en envases y productos de vida corta, aunque ha aumentado su empleo en medicina, agricultura fabricación de juguetes, electrónicos, herramientas y autopartes [3], [9]–[11]. Aunque se estimó que la participación de los bioplásticos en el mercado fue menor al 1% en el 2010 [12], este sector presenta un crecimiento vigoroso, con tasas anuales del 30% [3]. Se espera que la producción y consumo siga creciendo, especialmente en el área de los materiales biobasados – no biodegradables usados en aplicaciones de uso general. Este fenómeno permitiría, a través de economías de escala, bajar costos y ser más competitivos en el mercado.



Bioplásticos representativos y sus propiedades

Bioplásticos	Biobasado	Biodegradable	Propiedades	Observaciones
Ácido poliláctico (PLA)	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Similares a las del PET, aunque con menor resistencia a la temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente se fabrica a partir de maíz • Uno de los bioplásticos más usados
Bio-polietileno (BIO-PE)	✓	✗	<ul style="list-style-type: none"> • Idénticas a las del polietileno convencional 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente se fabrica a partir de la caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio
Policaprolactonas (PCL)	✗	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente al agua, aceites, solventes y cloros 	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea en la fabricación de poliuretanos
Polihidroxicanoatos (PHA)	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Dependientes del polímero específico • Muy sensibles a las condiciones de procesamiento- 	<ul style="list-style-type: none"> • Se extraen de las células de plantas y microorganismos • Su costo es hasta diez veces mayor al de los plásticos convencionales

Elaboración: Tecnologías Sustentables – UAM Azc

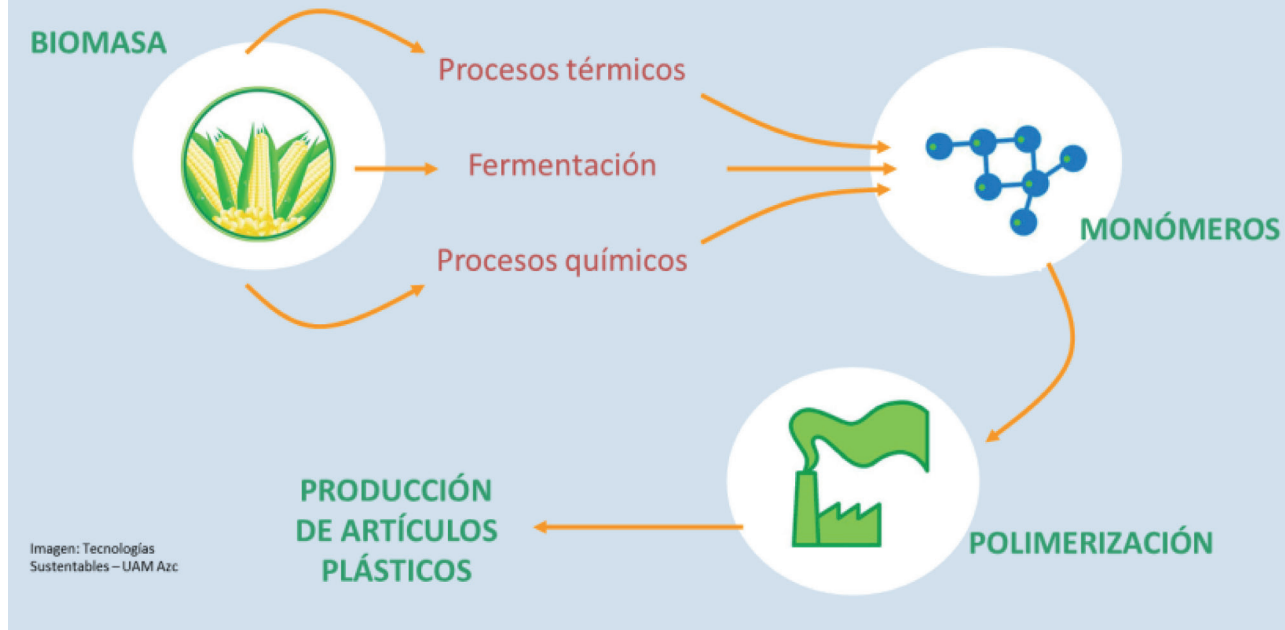
Plásticos biobasados

Los plásticos biobasados son aquellos que se fabrican a partir de la biomasa –la materia orgánica que compone a los seres vivos– de recursos naturales renovables, generalmente plantas, algas y microorganismos. En algunos casos es posible producirlos incluso a partir de residuos [13], [14]. A diferencia de los biopolímeros que se generan directamente en la naturaleza, como el almidón, las proteínas, la lignina y el quitosano, los plásticos biobasados requieren de etapas de procesamiento químico antes de su utilización. Esto puede ocurrir a partir de 2 procesos:

-El procesamiento químico de algún componente extraído de plantas como el maíz, soya, cassava y caña de azúcar. El proceso más común parte de la producción de etanol, ácido láctico y otros compuestos básicos a partir de la fermentación del almidón de las plantas, para después transformarlo y obtener los monómeros que darán origen al plástico. Este método permite obtener plásticos como el ácido poliláctico (PLA), pero también polietileno, polipropileno, nylon y otros plásticos convencionales, que presentan exactamente las mismas propiedades que los polímeros equivalentes obtenidos del petróleo.

-La extracción de precursores y monómeros que se generan como forma de almacenamiento de energía en el interior de las células de algunas plantas y microorganismos [15], [16]. Se ha demostrado que algunos pastos pueden producir polihidroxicanoatos hasta en un 3.7% de su peso, aunque el proceso continúa siendo costoso y complejo [3].

Fabricación de plásticos biobasados



La mayor ventaja relacionada con los plásticos biobasados es la posibilidad de fabricarlos a partir de recursos que, si se manejan adecuadamente, no se agotan. Los plásticos biobasados, en función de las condiciones específicas de cada proceso productivo, pueden presentar una huella de carbono menor que los plásticos convencionales. Por otro lado, algunos de ellos presentan desventajas relacionadas con sus condiciones exigentes de procesamiento, alta afinidad con el

agua, menores propiedades de barrera y menor biocompatibilidad [3].

Es importante señalar que **el origen biobasado de un plástico no implica que éste sea biodegradable** [3]. Aunque hay casos como el del PLA, en el que se reúnen ambas condiciones en un solo material, la biodegradabilidad de un plástico depende de su estructura química, y no del proceso o la materia prima mediante la cual se haya producido.

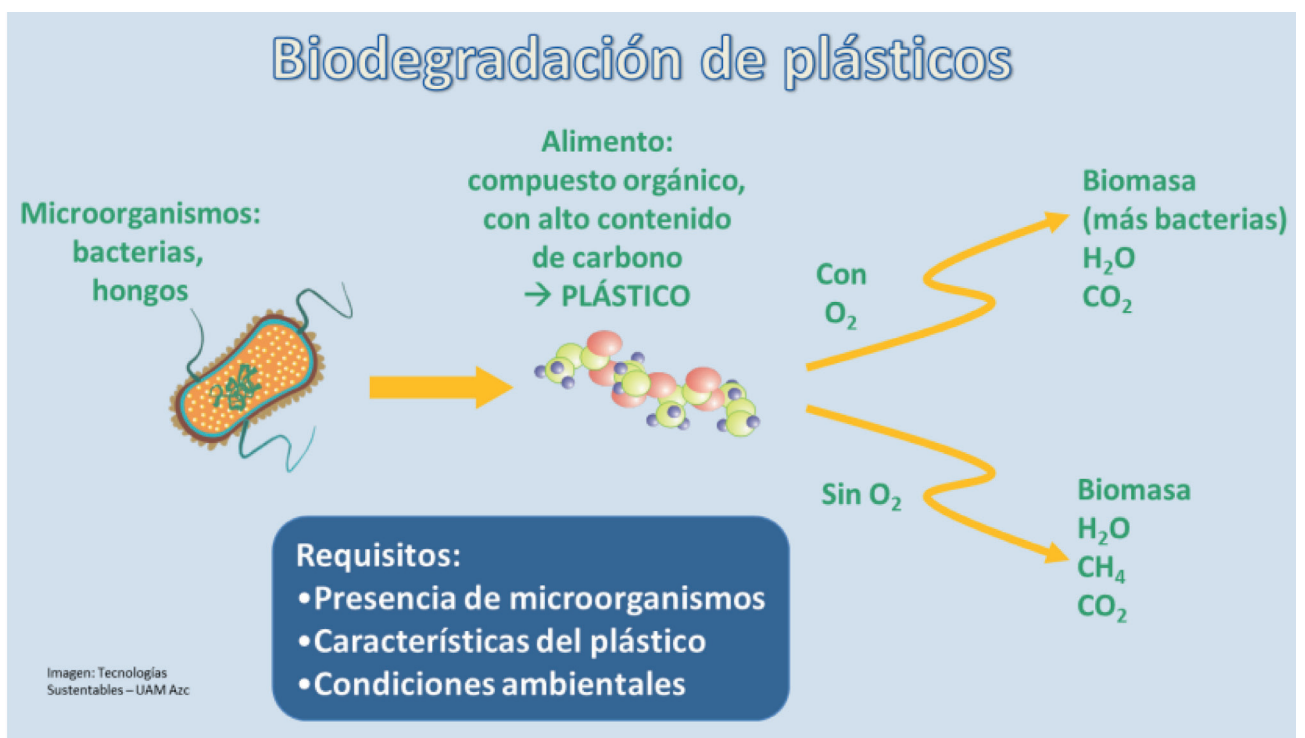
Plásticos biodegradables

Aunque existían desde hace varias décadas, los plásticos biodegradables han despertado el interés durante los últimos veinte años como una opción para reducir la permanencia de los residuos plásticos a través de su bioasimilación [17], especialmente en el caso de los productos de vida útil corta.

La biodegradación es el proceso mediante el cual las sustancias son transformadas por microorganismos o por las enzimas que estos generan. En el mismo, el carbono orgánico presente en las moléculas se transforma en compuestos simples como el bióxido de carbono (CO₂) y el metano

(CH₄), a través de un proceso conocido como mineralización. Este proceso debe ser susceptible de ser medido por métodos estandarizados, en condiciones y tiempos específicos [18]. Generalmente la biodegradación de un plástico ocurre en forma simultánea a otros procesos de degradación originados por la radiación UV, la temperatura, la fricción o la humedad, y no siempre es posible discernir el rol que juega cada uno de ellos. Por lo anterior, para considerar a un plástico como biodegradable es necesario garantizar que alcanza una mineralización completa en un periodo de tiempo establecido.

Los plásticos biodegradables **pueden fabricarse a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles** [19], dado que la biodegradabilidad no es función del material de origen, sino de la estructura química del plástico. Sin embargo, para que la biodegradación ocurra deben cumplirse otros requisitos, tales como la presencia de microorganismos capaces de llevarla a cabo y las condiciones ambientales requeridas para su desarrollo. La mayoría de los plásticos biodegradables ha sido diseñada para sufrir este proceso en un entorno específico, haciéndolos susceptibles a los microorganismos presentes en los procesos de composteo, los ambientes marinos o, en menor medida, ambientes sin oxígeno como los que se encuentran en los sistemas de producción de biogás a partir de residuos.



Identificación de bioplásticos

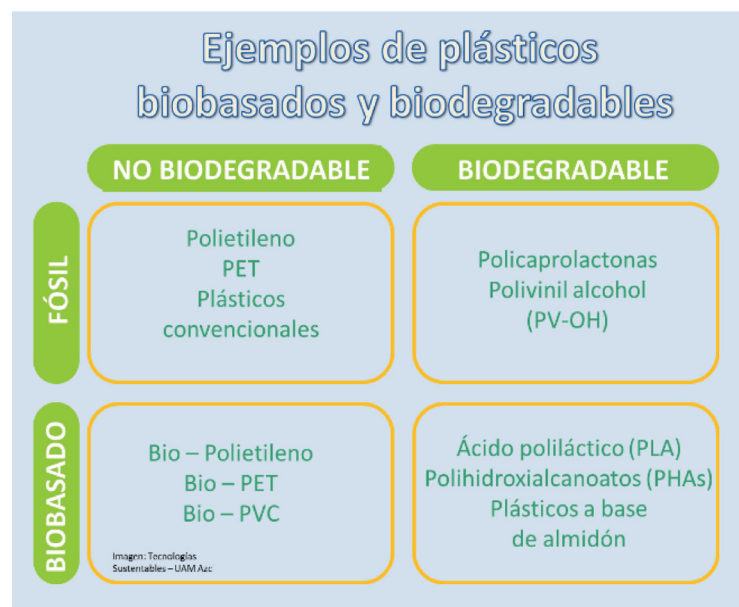
a) Plásticos biobasados

Para determinar que un plástico contiene material biobasado, y en qué proporción, es necesario recurrir a la medición del carbono 14 (C14) presente en el mismo.

En el planeta existen diferentes tipos de átomos de carbono o isótopos, que difieren entre sí en el número de neutrones contenidos en su núcleo. La mayoría del carbono presente es carbono 12, porque presenta 6 protones y 6 neutrones en su núcleo; una proporción menor tiene 8 neutrones en vez de 6 y se conoce como carbono 14. Cuando las plantas respiran, asimilan del ambiente proporciones más o menos estables de los dos tipos de carbono, así que si se hace un análisis de su organismo, o de los animales que las ingieren se encontraría en él proporciones de C12 y C14 constantes para cada época. Una vez que el organismo muere y deja de respirar inicia un proceso lento pero continuo de transformación del C14 en C12, así que conforme pasa el tiempo la proporción del primero disminuye y la del segundo aumenta. Mediante análisis de laboratorio es posible determinar la proporción de los dos carbonos, y de esa forma estimar el tiempo que ha transcurrido desde que los organismos que dieron origen a ese material dejaron de respirar.

Aunque esta medida no es precisa, si permite distinguir claramente entre los materiales fabricados a partir de plantas cosechadas en los últimos diez años y los que provienen de combustibles fósiles, que se originaron de la desintegración de seres vivos hace millones de años y prácticamente no contienen C14. El método ASTM 6866-12 [20] permite determinar el contenido biobasado de una muestra mediante la aplicación del análisis de C14, es decir, la proporción del material que tiene su origen en recursos renovables. Para implementarlo se requiere contar con instrumentos analíticos avanzados de alta precisión, porque las proporciones de C14 son muy pequeñas.

No debe perderse de vista que si en verdad se desea informar a los posibles usuarios de un material, no basta con indicar que un producto es biobasado, sino debe especificarse en qué proporción.



La identificación de bioplásticos es un asunto relevante, dado el nivel de desinformación acerca de los mismos y el mal uso que se ha hecho de las afirmaciones sobre los atributos de los productos a través de mensajes confusos o que no pueden probarse. Lamentablemente, no es posible identificar un bioplástico con base en su apariencia u otras propiedades evidentes, y para hacerlo se requieren pruebas de laboratorio. Con el fin de brindar mayor certeza con respecto a estos materiales asociaciones como ASTM Internacional e ISO han generado especificaciones, métodos de prueba y guías para los plásticos biobasados y biodegradables.

b) Plásticos biodegradables

Tal como se mencionó, estos materiales se biodegradan sólo en entornos específicos, por lo que existen estándares para evaluar su biodegradación

en composta, suelo, ambientes marinos, rellenos sanitarios y procesos de degradación anaerobia (sin oxígeno).

Los elementos comunes en estas pruebas son la realización de los experimentos en un ambiente controlado de laboratorio y la imposibilidad de interpretar los resultados para definir cuánto tardaría la biodegradación en condiciones reales e incluso si se llevaría a cabo [21]. Lo que se hace, en cambio, es comparar qué tanto se degradan estos materiales en comparación a otros que generalmente se consideran muy biodegradables, como la celulosa. Las pruebas de biodegradabilidad varían en complejidad y requerimientos técnicos, pero es común que se prolonguen durante varios meses.

Ejemplos de métodos de prueba estandarizados para plásticos biodegradables

ASTM D5338-11	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado, incorporando temperaturas termofílicas
ASTM D5511-12	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación anaerobia de materiales plásticos en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos
ASTM D5988-12	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia en suelo
ASTM D7475-11	• Método de prueba para la determinación de la degradación aerobia y anaerobia de materiales plásticos en condiciones de relleno mediante pruebas aceleradas en biorreactor
ASTM D5526-11	• Método de prueba para la determinación de la biodegradación de materiales plásticos en condiciones aceleradas de relleno
ISO 13975:2012	• Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas controlados de digestión de lodos – Método por medición de producción de biogás
ISO 14855-1:2012	• Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado – Método por análisis de la generación de dióxido de carbono – Parte 1: método general
ISO 15985:2004	• Determinación de la biodegradación anaerobia total y desintegración en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos – Método por análisis del biogás liberado
ISO 17556:2012	• Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o la masa generada de dióxido de carbono
ISO 14853:2005	• Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas acuosos – Método por medición de la producción de biogás

Bioplásticos y ambiente

No puede establecerse *a priori* que los bioplásticos sean buenos o malos para el ambiente, pues cada caso debe evaluarse de forma individual, pues las interacciones de estos materiales con el entorno dependerán de factores como las condiciones de su producción, el uso que se les da y el destino que reciben al concluir su vida útil.

En el caso de los plásticos biobasados existe un beneficio desde el punto de vista de la preservación de recursos, dado que proceden de plantas y otros recursos renovables [22]. Además, en la mayoría

de los casos presentan un balance positivo en la producción de gases de efecto invernadero, pues el metano y el bióxido de carbono que se generan al final de su vida útil se balancean con el que las plantas tomaron de la atmósfera durante su desarrollo [9]. Lo anterior a diferencia de los plásticos fabricados a partir de combustibles fósiles, que liberan bióxido de carbono y metano que se capturó de la atmósfera hace millones de años.

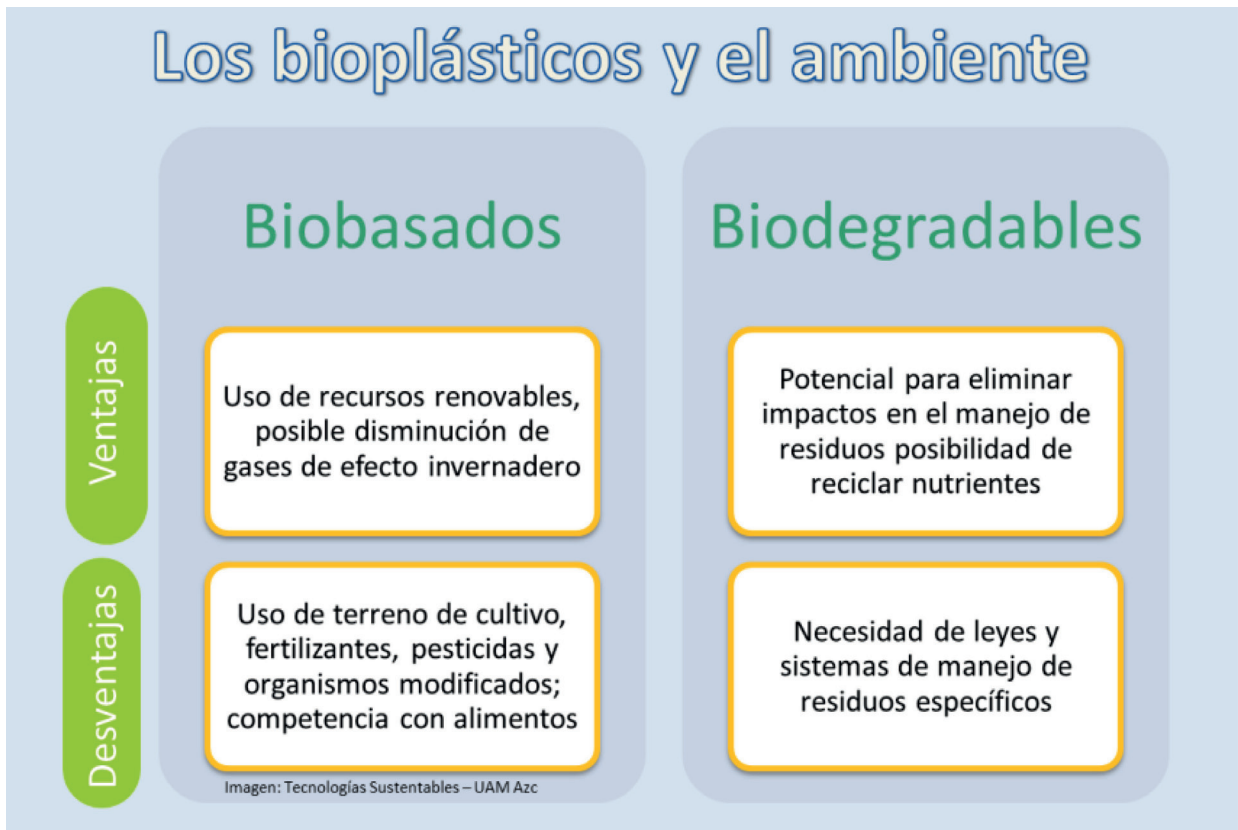
Sin embargo, es importante considerar las condiciones en que se realice el cultivo de las especies que se usan en su producción [23], ya que pueden generar impactos en términos de agotamiento de nutrientes en los terrenos de cultivo, deforestación, presencia de organismos genéticamente modificados, uso de plaguicidas y fertilizantes [12], [22], [24], [25]. Existe, además, una gran polémica relacionada con el uso de terreno de cultivo para producir plásticos o biocombustibles en vez de alimentos [9], así como la posibilidad de que esto traiga como consecuencia el aumento en el precio de cereales básicos como el maíz.

En el caso de los plásticos biodegradables, el posible beneficio radica en su potencial para disminuir los residuos plásticos que quedan depositados en los rellenos sanitarios, de forma que se aumente su vida útil y se disminuyan los impactos ambientales de los mismos. Bajo condiciones específicas, pueden contribuir a la recuperación de nutrientes. No obstante, esto ocurrirá solamente si existen esquemas de separación y recolección que les permitan llegar al destino para el cual fueron creados, ya sea el compostaje, la degradación anaerobia o algún otro tipo de entorno así como leyes o normas que fomenten su uso, permitan evaluarlos y certificarlos.

Es importante también considerar las interacciones entre estos materiales y los procesos de

reciclaje, que son uno de los medios para mitigar el impacto ambiental de los plásticos. En el caso de los biobasados-no biodegradables (Bio-PE, Bio-PET) la integración a los procesos es directa ya que no existe diferencia con sus contrapartes provenientes del petróleo. Los biobasados-biodegradables, por otro lado, no deben mezclarse con la corriente de reciclaje [8]; aunque el PLA puede reciclarse química o mecánicamente si se separa de otros plásticos mediante detectores de infrarrojo [3] [8], esto requeriría de esquemas de identificación y recuperación del material. No existen estudios concluyentes sobre algunos de estos materiales y su efecto en el reciclaje, por lo que en caso de falta de evidencia es conveniente actuar con precaución [26].

Los bioplásticos y el ambiente



Bioplásticos en México

En México existe una confusión generalizada con respecto al significado de los términos bioplástico, plástico biobasado y plástico biodegradable, así como sobre el alcance y aplicaciones de cada tecnología. En general los bioplásticos tienen una presencia muy baja en el mercado, y los que se comercializan son importados; no se cuenta con políticas oficiales que orienten la producción y desarrollo de este tipo de materiales, ni se ha analizado a profundidad su posible efecto como sustituto de los derivados del petróleo o el gas natural.

Por otro lado, los residuos plásticos han recibido la atención de la sociedad, los legisladores y los medios, aunque en la mayoría de los casos ésta se centra en las bolsas. Dado que éstas se consideran como residuos sólidos urbanos, su manejo se realiza a nivel local. En país la problemática de los residuos plásticos generalmente se aborda a nivel local, dado su carácter preponderante como residuos sólidos urbanos. En distintas localidades se han presentado propuestas para restringir el uso de las bolsas o para promover que éstas se fabriquen con materiales biobasados o biodegradables; sin embargo, en la mayoría de los casos las propuestas legislativas o nuevas leyes son poco claras y no toman en cuenta las características de estos materiales. Más aún, las medidas no están articuladas con la operación de los sistemas de gestión de residuos; un ejemplo claro es el caso del Distrito Federal, donde la Ley de Residuos recomienda el uso de bolsas biobasadas asumiendo que son biodegradables; en función del esquema de separación de residuos establecido, esta recomendación no tiene sentido, dado que los plásticos se separan con la fracción inorgánica.

Conclusiones

Los bioplásticos son un conjunto de materiales que pueden contribuir de manera efectiva tanto a la protección del ambiente como al desarrollo de la industria del plástico en sí. Sin embargo, es necesario conocer sus propiedades y características, de forma que las aplicaciones a las que se destinen se beneficien de las mismas. Reviste especial importancia la necesidad de distinguir entre los materiales biobasados y los biodegradables, dada la actual confusión existente al respecto.

Un gran reto, paralelo al desarrollo de estos materiales, es generar los mecanismos que permitan a los consumidores identificarlos claramente. Con esto se propiciaría que la legislación fuese consistente con las prácticas de manejo de residuos. ■

Referencias

- [1] A. L. Andrady and M. A. Neal, "Applications and societal benefits of plastics," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 1977–1984, 2009.
- [2] Plastics Europe, "Plastics - the Facts 2013," 2013.
- [3] E. Ruiz-Hitzky, F. M. Fernandes, M. M. Reddy, S. Vivekanandhan, M. Misra, S. K. Bhatia, and A. K. Mohanty, "Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 38, no. 10, pp. 1653–1689, 2013.
- [4] E. L. Teuten, J. M. Saquing, D. R. U. Knappe, M. A. Barlaz, S. Jonsson, A. Björn, S. J. Rowland, R. C. Thompson, T. S. Galloway, R. Yamashita, D. Ochi, Y. Watanuki, C. Moore, P. H. Viet, T. S. Tana, M. Prudente, R. Boonyatumanond, M. P. Zakaria, K. Akkhavong, Y. Ogata, H. Hirai, S. Iwasa, K. Mizukawa, Y. Hagino, A. Imamura, M. Saha, and H. Takada, "Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2027–2045, 2009.
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Diagnóstico Básico para la gestión integral de los residuos 2012," 2013.
- [6] European Bioplastics, "Frequently asked questions on bioplastics," 2014.
- [7] Secretaria de Gobernación, *PROY-NMX-E-260-CNCP-2013 Industria del plástico - Materiales bioplásticos - Terminología*. México: Diario Oficial de la Federación, 7 de mayo, 2014, p. 5.
- [8] P. August, "Development of Biobased Plastics Independent of the Future of Biofuels The Society of the Plastics Industry Bioplastics Council," no. August, 2013.
- [9] N. Peelman, P. Ragaert, B. De Meulenaer, D. Adons, R. Peeters, L. Cardon, F. Van Impe, and F. Devlieghere, "Application of bioplastics for food packaging," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 32, no. 2, pp. 128–141, Aug. 2013.
- [10] H. Widdecke, A. Otten, A. Marek, and S. Apelt, "Bioplastics: economic opportunity of temporary phenomenon," 2010.

- [11] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. D. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 19, no. 12, pp. 634–643, 2008.
- [12] Bioplastics council, "Bioplastics industry - Overview guide - Excecutive summary," 2012.
- [13] Y. Jiang, L. Marang, J. Tamis, M. C. M. van Loosdrecht, H. Dijkman, and R. Kleerebezem, "Waste to resource: converting paper mill wastewater to bioplastic," *Water Res.*, no. 0.
- [14] I. Leceta, A. Etxabide, S. Cabezudo, K. de la Caba, and P. Guerrero, "Bio-based films prepared with by-products and wastes: environmental assessment," *J. Clean. Prod.*, Aug. 2013.
- [15] G. Divya, T. Archana, and R. Manzano, "Polyhydroxy Alkonates-A Sustainable Alternative to Petro-Based Plastics," *J. Pet. ...*, 2013.
- [16] P. Jindal and D. P. Tiwari, "Biosynthesis of PHA and it's copolymers - a review," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 4, no. 8, pp. 501–507, 2013.
- [17] F. Razza and F. D. Innocenti, "Bioplastics from renewable resources: the benefits of biodegradability," *Asia-Pacific J. Chem. Eng.*, vol. 7, pp. S301–S309, 2012.
- [18] ASTM D883, "Standard terminology relating to plastics." ASTM International, 2000.
- [19] S. Prakash, "Biodegradable polymers," *Int. Res. J. Humanit. Eng. Pharm. Sci.*, pp. 15–18, 2013.
- [20] ASTM International, *ASTM D6866-12 Standard test methods for determining the biobased content of solid, liquid and gaseous samples using radiocarbon analysis*. 2012.
- [21] B. De Wilde and J. Boelens, "Prerequisites for biodegradable plastic materials for acceptance in real-life composting plants and technical aspects," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 59, no. 1–3, pp. 7–12, 1998.
- [22] T. a. Hottle, M. M. Bilec, and A. E. Landis, "Sustainability assessments of bio-based polymers," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 98, no. 9, pp. 1898–1907, Sep. 2013.
- [23] H. L. Bos, K. P. H. Meesters, S. G. Conijn, W. J. Corré, and M. K. Patel, "Accounting for the constrained availability of land: a comparison of bio-based ethanol, polyethylene, and PLA with regard to non-renewable energy use and land use," *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 6, no. 2, pp. 146–158, 2012.
- [24] The Society of the Plastics Industry Bioplastics Council, "Development of biobased plastics independent of the future of biofuels," 2013.
- [25] V. Piemonte and F. Gironi, "Bioplastics and GHGs Saving: The Land Use Change (LUC) Emissions Issue," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 34, no. 21, pp. 1995–2003, 2012.
- [26] A. Soroudi and I. Jakubowicz, "Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review," *Eur. Polym. J.*, no. 0.