El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente

Alethia Vázquez Morillas, Margarita Beltrán Villavicencio, Rosa María Espinosa Valdemar y Maribel Velasco Pérez

Introducción

Desde que se fabricaron los primeros plásticos, hace más de 100 años, su uso ha aumentado en forma gradual, hasta convertirse en materiales insustituibles en la sociedad actual. La posibilidad de producir plásticos con propiedades muy variadas los ha llevado a llenar nichos en sectores tan diversos como las telecomunicaciones, la industria automotriz o el envase y embalaje, por citar sólo algunos ejemplos.

El aumento en el uso de materiales plásticos se deriva no sólo de su versatilidad, sino de una tendencia global de aumento en el uso de recursos por parte de la sociedad; la economía actual se sostiene en una dinámica de consumo constante, que provoca una gran presión sobre el planeta debido a la extracción de materias primas. En este contexto, no sólo se obtienen y transforman recursos naturales; también se genera una gran cantidad de residuos que la Tierra no puede asimilar.

Con frecuencia la preocupación sobre estos desequilibrios ambientales se centra en materiales específicos, como es el caso de los plásticos. Ante esto, se ha propuesto reducir sus efectos ambientales al fabricarlos a partir de recursos naturales renovables. En este artículo se analizan los impactos de este tipo de materiales en el ambiente, y se contrastan con los producidos por los plásticos convencionales fabricados a partir de combustibles fósiles.

El impacto ambiental de los plásticos

Se han desarrollado múltiples estudios y discusiones relacionados con el impacto ambiental generado por los plásticos, tanto para compararlos con otros materiales, como para establecer diferencias entre distintos polímeros. A este respecto, es importante señalar que no existe un método universal para determinar el impacto ambiental de un producto, que es un concepto amplio, en el que intervienen muchos factores y que puede tener diferentes interpretaciones. Una de las metodologías de evaluación que ha cobrado fuerza en los últimos años es el análisis de ciclo de vida.

Cambio de enfoque: el ciclo de vida

Cuando se habla de los impactos que un material, producto o actividad generan en el ambiente, es común que se realicen afirmaciones generales, en ocasiones basadas en percepciones y sin un fundamento científico. Sin embargo, la evaluación del impacto ambiental es una tarea compleja, dado que el ambiente está formado por diferentes componentes que interactúan entre sí; además, debe considerarse que los impactos pueden derivarse de actividades relacionadas con la

producción, uso o disposición de los bienes o servicios. Con el fin de realizar un análisis que tome en cuenta todos estos factores se ha generado una metodología conocida como análisis de ciclo de vida.

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta que permite determinar el impacto de algún proceso o producto en el ambiente, generado tanto por el uso de recursos naturales y energía como por las descargas, emisiones y residuos producidos. A diferencia de los análisis tradicionales, en que sólo se considera el producto ya terminado, el ACV usa un enfoque *cradle-to-grave* (de la cuna a la tumba), tomando en cuenta los efectos generados desde la extracción de materia prima a partir de la naturaleza, hasta la reincorporación de los materiales al ambiente. De esta manera, se genera una visión integral de los impactos que se generan en un producto o proceso.

Un producto o servicio puede afectar a uno o más de los elementos que conforman el ambiente. Con el fin de sistematizar la evaluación de dichos impactos, éstos se clasifican en categorías específicas, relacionadas con el suelo, la atmósfera, los recursos hídricos, el agotamiento de los recursos o la toxicidad a los seres vivos. Al comparar dos materiales, puede encontrarse que cada uno ocasiona efectos en categorías de impacto diferentes, por lo que no siempre es posible identificar "la mejor opción". En este sentido, el valor de los ACV no radica en la posibilidad de cuantificar impactos, sino en el hecho de que proporcionan una visión completa que permite

considerar a la vez los distintos aspectos que conforman el ambiente y mejorar así tanto los productos como los procesos.

El origen de los plásticos

Los plásticos, como todos los otros materiales que utilizamos, se obtienen mediante la extracción y procesamiento de los recursos naturales con que cuenta el planeta. Sin embargo, es posible diferenciarlos con base en el tipo de recursos naturales que han sido empleados como materia prima en su producción. La mayoría de los plásticos utilizados hoy en día se fabrican a partir del procesamiento de combustibles fósiles, como el petróleo o el gas natural, que son considerados como recursos naturales no renovables. Existen, por otro lado, plásticos biobasados, que contienen una proporción mayoritaria de materias primas renovables, es decir, aquellas que pueden regenerarse en lapsos de tiempo relativamente cortos.

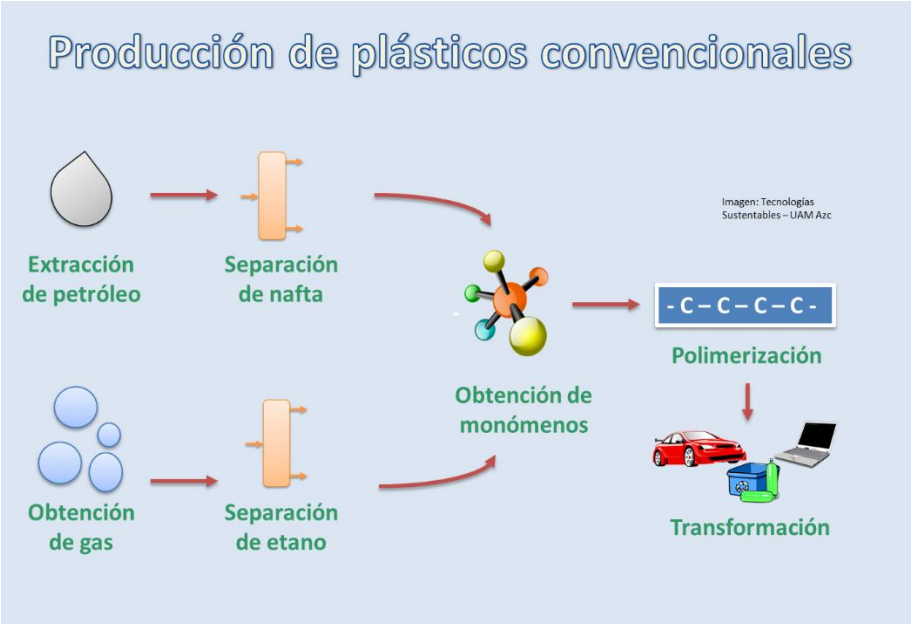
Fabricación de plásticos a partir de combustibles fósiles

El petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos, cuya formación inició hace 430 millones de años a través de la transformación de sedimentos y restos de organismos

vivos que quedaron sepultados bajo arena y rocas, dando origen a los yacimientos que explotamos hoy en día [1]. Es un material indispensable en el funcionamiento de la sociedad, pues constituye la principal fuente de energía en los países desarrollados.

Los distintos compuestos que conforman el petróleo se separan en grupos, con el fin de producir combustibles u otro tipo de productos químicos. Para ello es necesario introducirlos en torres de destilación, que permiten obtener distintas fracciones de hidrocarburos con base en el tamaño de las moléculas que las conforman. Entre las mezclas ligeras que se obtienen por este proceso se encuentra la nafta, un líquido muy inflamable que se transforma en la industria petroquímica para obtener alcanos y alquenos, como el etileno y el propileno, al igual que compuestos aromáticos como el benceno, xileno y toluenos. Estos compuestos son utilizados tanto en la producción de plásticos como en muchos otros procesos de la industria química. Las poliolefinas, que constituyen el grupo de plásticos de mayor uso, se pueden fabricar a partir de monómeros extraidos de la nafta. Estos requieren de una reacción que conduzca a su polimerización y que los transforma en la materia prima que, en forma de pellets u otra presentación, es empleada por la inmensa gama de sectores industriales que emplean plásticos para fabricar componentes o productos destinados al consumo directo.

Los plásticos también pueden producirse a partir de la fracción gaseosa obtenida de la destilación de petróleo, o directamente del gas natural. El gas natural es una mezcla de hidrocarburos que se extrae de yacimientos independientes o asociados a los depósitos naturales de petróleo. Entre sus componentes se encuentra el etano, que es separado por condensación. El etano se transforma en etileno u otros compuestos similares en un proceso de craqueo, dando origen al monómero que es polimerizado y posteriomente transformado en productos [2]. En países como Estados Unidos el gas natural constituye una fuente de materia prima muy significativa para la producción de plásticos [3].



La extracción, refinación y procesamiento del petróleo y gas natural generan diversos impactos en el ambiente, entre los cuales destacan [4]:

- Deforestación y afectaciones a la biodiversidad, debido a la construcción de infraestructura: plataformas, pozos, campamentos, caminos y ductos
- Contaminación del suelo, agua y atmósfera debida a emisiones no controladas, fugas, derrames y manejo inadecuado de residuos
- Compactación y erosión del suelo
- Producción de gases de efecto invernadero debido a la gran cantidad de energía requerida en el proceso

Aunque sólo el 5% del petróleo se dedica a la producción de plásticos, estos contribuyen de forma proporcional a los impactos generados por las actividades petroquímicas y de extracción.

Plásticos biobasados

La biomasa es la materia contenida en los seres vivos, y constituye uno de los principales recursos naturales con que cuenta el planeta. Los primeros plásticos, producidos hace más de 100 años,

utilizaban biomasa como materia prima, sin embargo al llegar la producción masiva se optó por la utilización de compuestos obtenidos a partir de combustibles fósiles, debido a su disponibilidad y facilidad de procesamiento. En las últimas décadas la posibilidad de fabricar plásticos a partir de plantas y animales ha cobrado un gran interés. Esto obedece a la perspectiva de agotamiento del petróleo, a las variaciones en su precio, al avance en los procesos biotecnológicos y a la búsqueda de plásticos con menores efectos ambientales [5], [6].

Los plásticos biobasados son aquellos constituidos de compuestos orgánicos que se obtienen de recursos naturales renovables, como plantas y microorganismos. Para producirlos generalmente se parte de materias primas que contienen azúcares o ácidos grasos, especialmente plantas con alto contenido de almidón o aceites naturales que son cultivadas, cosechadas y sometidas a procesos de extracción y transformación [6]. El interés se ha centrado en materiales con amplia disponibilidad, características homogéneas y bajo costo, entre los cuales se han estudiado subproductos agrícolas o de actividades pesqueras [7]. Existen diferentes procesos para transformar la biomasa en plásticos, algunos ejemplos de plásticos obtenidos mediante los métodos representativos son:

a) Ácido poliláctico

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero biobasado muy relevante, que se produce a escala industrial y se comercializa internacionalmente. Se obtiene a partir de almidón que puede ser extraído de diferentes plantas, como el arroz, la caña de azúcar, el betabel o, más comúnmente, el maíz. Para producirlo, el almidón se somete a un proceso que permite transformarlo en dextrosa, que es fermentada para generar ácido láctico, que posteriormente se polimeriza [8]. En 2013 se estimó una capacidad global de producción de 188,000 toneladas, destinadas principalmente a la producción de empaque rígido y flexible, textiles, bienes de consumo y agroplásticos [9].

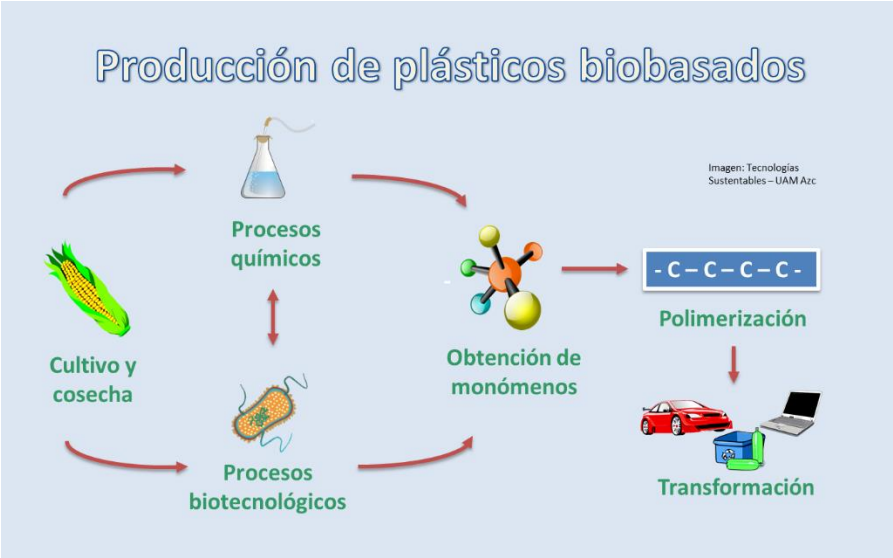
b) BIO Polietileno

El bio-polietileno presenta exactamente la misma estructura y propiedades que el polietileno convencional, la única diferencia es el proceso mediante el cual se fabrica. Para generar el producto biobasado se parte de alguna fuente de biomasa con alto contenido de azúcar, como la caña, que mediante un proceso de fermentación permite obtener

etanol [10], que puede transformarse en diferentes insumos para la industria química, entre los cuales se encuentre el polietileno. La capacidad de producción de polietileno en 2013 fue de 199,260 toneladas, constituyéndose como el principal plástico biobasado [9].

c) Polihidroxialcanoatos

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son compuestos químicos poliméricos que se generan en el interior de células de algunas plantas y microorganismos, como una forma de acumulación de energía. En el proceso, los microorganismos –naturales o genéticamente modificados– transforman una fuente de carbono en un polímero que se almacena en su estructura, y que posteriormente puede ser extraído con un solvente. Entre las fuentes de que han mostrado su viabilidad se encuentran sacarosa, almidón, celulosa, metano, aceites minerales, carbón, melazas, glicerol, ácido propiónico, ácido butírico, aceites de soya, frijol, palma, girasol, betabel y maíz, cascarilla de arroz, trigo, papa y distintas gomas naturales [11], [12]. Uno de los PHA más estudiados, el Poli(3-hidroxibutirato), es un polímero cristalino de alto peso molecular, biodegradable, con propiedades similares al polipropileno [12].



No debe perderse de vista que la producción de plásticos biobasados también genera impactos en el ambiente. En el caso de los plásticos derivados de productos o subproductos agrícolas, los principales impactos son:

- Cambios en el uso del suelo, deforestación, afectaciones en la biodiversidad y en los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, debido al uso de tierra para cultivo
- Introducción de compuestos tóxicos al ambiente debido al uso de plaguicidas, pesticidas y fertilizantes
- Eutrofización de fuentes de agua por el escurrimiento de fertilizantes
- Utilización de agua
- Consumo de energía, generalmente de origen fósil, para las tareas relacionadas con el cultivo, la cosecha y la transformación.

Otro aspecto que debe considerarse es que, contrario a la percepción general, los plásticos biobasados no necesariamente son biodegradables. Su capacidad para reincorporarse a los ciclos de la naturaleza depende de su estructura química, y no de las fuentes que les dieron origen; así, habrá plásticos biobasados biodegradables, como el PLA y los PHA, mientras que el bio-polietileno o el bio-PET presentarán la misma resistencia y permanencia en el ambiente que sus congéneres convencionales.

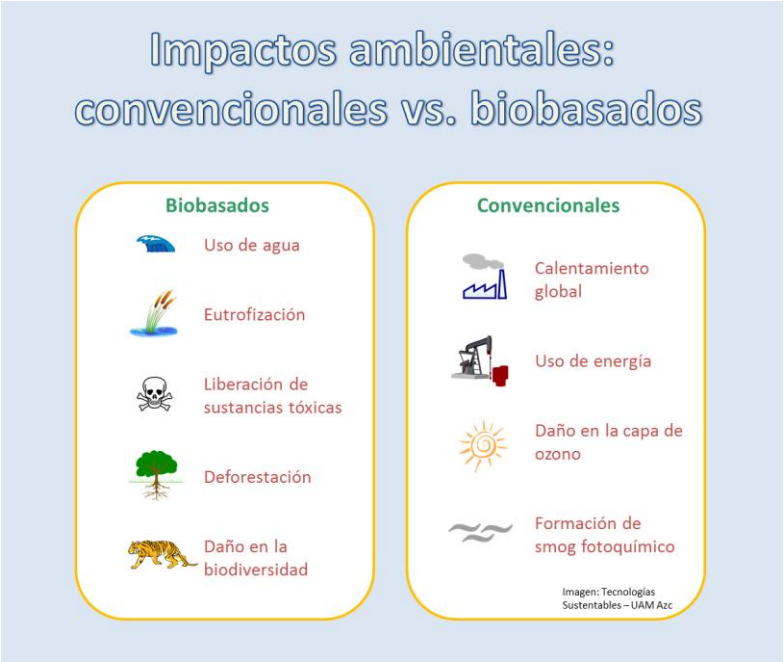
¿Plásticos convencionales o biobasados?

El análisis del ciclo de vida de plásticos biobasados y convencionales ha mostrado que no es posible establecer *a priori* que alguna de ambas categorías ocasione mayores impactos en el ambiente. Además de que el efecto en el ambiente puede evaluarse de diferentes maneras, se verá afectado por la aplicación específica, la fuente de biomasa empleada, la tecnología que se usa, el lugar en que se desarrolla el proceso de producción, el origen de la energía usada en los procesos y las etapas del ciclo de vida que son tomadas en cuenta, incluyendo la posibilidad de que los materiales se reciclen o no al final de su vida útil [10], [13]. La tabla siguiente presenta, como ejemplos, diferentes estudios en que se compararon los efectos de plásticos biobasados y convencionales.

Resultados de comparaciones entre plásticos biobasados y convencionales	
PP, PE y PHB [12]	El PHB genera menos emisiones atmosféricas
PVOH derivado de maíz, trigo y papa vs PEAD, PEBD, EPS, para distintas aplicaciones [14]	No se puede generalizar, los impactos dependen de la aplicación, contenido de material reciclado y disposición final. La producción del almidón genera el 50-90% de los impactos en los biobasados, por acidificación y eutrofización
PLA, Bio-PE, Bio poliéster, PP y PE para película usada en empaque laminado multicapa [5]	No hay diferencias claras entre los materiales. La posible biodegradabilidad de algunos materiales no tuvo un impacto significativo en los resultados. Los resultados dependen de las combinaciones y la materia prima empleada
PHA y PP para bolsas de plástico [6]	Los impactos dependen de las fuentes de energía utilizadas. Los resultados son válidos sólo para Singapur
Bio PE y PE convencional [10]	El biobasado usa menos energía de origen fósil
PE y PLA para bolsas de plástico [15]	Diferencia mínima a favor de las bolsas de PLA . El PE impacta en uso de energía no renovable y calentamiento global, el PLA en uso de tierra
Bolsas de poliéster-almidón, de polietileno, de papel kraft y oxodegradables [16]	Los materiales composteables impactan en consumo de recursos naturales y uso de agua, el PE en liberación de plásticos a ecosistemas, el papel en consumo de materiales, calentamiento global y consumo de energía
Comparación de 7 plásticos derivados del petróleo, 4 de recursos biológicos y uno combinado [17]	Las poliolefinas presentan menores impactos que biobasados y convencionales más complejos. Los convencionales impactan en uso de energía y calentamiento global, los biobasados en eutrofización, toxicidad y uso de suelo
Producción de PLA y plásticos convencionales [18]	El PLA genera menos calentamiento global
PLA, PHA polímeros que contienen almidón y convencionales [19]	Las diferencias entre los estudios analizados no permiten una comparación directa

*PP – polipropileno, PE – polietileno, PHB – polihidroxibutirato, PVOH – polivinil alcohol, PEAD – polietileno de alta densidad, PEBD – polietileno de baja densidad, EPS – poliestireno expandido, PLA – ácido poliláctico, PHA – polihidroxialcanoatos

Si bien no es posible establecer conclusiones generalizadas, si se advierten algunas tendencias. En los estudios comparativos los plásticos biobasados con frecuencia muestran mayores impactos en términos de uso de agua, eutrofización, liberación de sustancias tóxicas y disminución en la capacidad del planeta para capturar CO_2 [10], [12], [19]. Por su parte, los plásticos derivados de combustibles fósiles generan afectaciones más altas en el consumo de energía no renovable, producción de gases de efecto invernadero, daño a la capa de ozono y formación de smog fotoquímico. Incluso para el mismo tipo de plásticos los efectos pueden ser contrapuestos; por ejemplo, la fabricación de plásticos a partir de biomasa puede reducir el CO_2 presente en la atmósfera al removerlo y transformarlo mediante fotosíntesis, pero también disminuye la capacidad de captura al modificar la cubierta vegetal natural del planeta [20]. Cada tipo de plástico, para cada aplicación específica, tendrá un conjunto específico de impactos que deben ser cuantificados con detalle y cuidado.



Es importante señalar que en el caso de los plásticos convencionales, los procesos de fabricación se han optimizado a lo largo de décadas, dando origen tanto a economías de escala como a sustantivas mejoras en el control de emisiones y efluentes [8]. Para algunos de los plásticos biobasados, como los PHA, los procesos se encuentran aún en etapa experimental, por lo que en ocasiones los cálculos de sus impactos se hacen a partir de extrapolaciones, tomando como base procesos que aún no alcanzan la escala productiva. En este sentido, podría esperarse que con el tiempo la producción de los plásticos biobasados se vuelva más eficiente y, por tanto, disminuya sus impactos en el ambiente [5].

Conclusiones

En los años recientes se ha desarrollado una búsqueda intensa de alternativas que permitan disminuir el impacto ambiental de los plásticos, sin renunciar a las ventajas de su utilización. En este contexto, la posibilidad de producir plásticos a partir de recursos naturales renovables se presenta como una opción viable que permitiría disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y, en algunos casos, mitigar los impactos ambientales de estos materiales.

Es común que estos plásticos biobasados se perciban como “naturales”, en oposición a los plásticos convencionales, que con frecuencia se consideran “sintéticos”, sin tomar en cuenta que en ambos casos la materia prima que los constituye se extrae de la naturaleza y requiere de diferentes etapas de procesamiento para transformarla en los productos que utilizamos a diario. Esta percepción con frecuencia lleva a considerar que, debido a su origen, los plásticos biobasados son intrínsecamente mejores para el ambiente, sin considerar el proceso que les da origen y las afectaciones generadas por el mismo.

No es posible establecer de forma general que, en función de su origen, algunos plásticos generen menores impactos en el ambiente. Si se desea comparar dos materiales es indispensable realizar un análisis profundo, que tome en cuenta las características locales de los procesos, la aplicación a la que se destinará el material y la forma en que se manejará a lo largo de todo su ciclo de vida. Más aún, es necesario considerar que, además del polímero base del cual se constituye el plástico, puede contener aditivos, cargas y otros componentes que también generarán impactos en el ambiente.

Como usuarios, es importante informarse sobre los procesos de fabricación y características de los materiales que utilizamos, de forma que valoremos adecuadamente las ventajas y desventajas operativas y ambientales de las distintas opciones. Un análisis cuidadoso puede ayudar a distinguir entre los atributos reales de un producto y aquellos que únicamente buscan generar una imagen “verde”.

Los plásticos biobasados son una opción viable, que en ciertas condiciones puede reportar ventajas ambientales. Puede esperarse que en un futuro se optimicen los procesos de fabricación y que tecnologías que al momento se han implementado a nivel laboratorio lleguen a escala productiva, aumentando con ello las opciones para la obtención de materiales plásticos. Como sociedad nos corresponderá evaluar y elegir las opciones que permitan cubrir nuestras necesidades con el menor impacto posible al planeta.

Referencias

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “El petróleo,” Cuéntame.... Economía. [En línea]. Disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/dondeesta.aspx?tema=E. [Fecha de consulta: 04-Mar-2015].

[2] Bricks without straw, From natural gas to plastics. Vimeo, 2012.

[3] U. S. Energy Information Administration, “How much oil is used to make plastics?,” Frequently asked questions, 2014. [En línea]. Disponible en:

http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=34&t=6. [Fecha de consulta: 08-Apr-2015].

[4] E. Bravo, “Impactos de la explotación petrolera en América Latina,” Biodiversidad, pp. 1–9, 2005.

[5] B. G. Hermann, K. Blok, y M. K. Patel, “Twisting biomaterials around your little finger: environmental impacts of bio-based wrappings,” Int J Life Cycle Assess, vol. 15, pp. 346–358, 2010.

[6] H. H. Khoo y R. B. H. Tan, “Environmental impacts of conventional plastic y bio-based carrier bags,” Int. J. Life Cycle Assess., vol. 15, no. 4, pp. 338–345, Feb. 2010.

[7] I. Leceta, A. Etxabide, S. Cabezudo, K. de la Caba, y P. Guerrero, “Bio-based films prepared with by-products y wastes: environmental assessment,” J. Clean. Prod., Aug. 2013.

[8] E. T. H. Vink, K. R. Rábago, D. A. Glassner, y P. R. Gruber, “Applications of life cycle assessment to NatureWorksTM polylactide (PLA) production,” Polym. Degrad. Stab., vol. 80, no. 3, pp. 403–419, 2003.

[9] European Bioplastics, “Bioplastics: facts y figures,” 2014. [En línea]. Disponible en: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf. [Fecha de consulta: 05-Apr-2015].

[10] C. Liptow y A.-M. Tillman, “A Comparative Life Cycle Assessment Study of Polyethylene Based on Sugarcane y Crude Oil,” J. Ind. Ecol., vol. 16, no. 3, pp. 420–435, 2012.

[11] G. Divya, T. Archana, y R. Manzano, “Polyhydroxy Alkonates-A Sustainable Alternative to Petro-Based Plastics,” J. Pet. 2013.

[12] K. G. Harding, J. S. Dennis, H. von Blottnitz, y S. T. L. Harrison, “Environmental analysis of plastic production processes: comparing petroleum-based polypropylene y polyethylene with

biologically-based poly-beta-hydroxybutyric acid using life cycle analysis.," J. Biotechnol., vol. 130, no. 1, pp. 57–66, May 2007.

[13] H. Wake, "Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment," Estuar. Coast. Shelf Sci., vol. 62, no. 1–2, pp. 131–140, Jan. 2005.

[14] M. Guo y R. J. Murphy, "Is There a Generic Environmental Advantage for Starch–PVOH Biopolymers Over Petrochemical Polymers?," J. Polym. Environ., vol. 20, no. 4, pp. 976–990, 2012.

[15] A. Ruban, "Life cycle assessment of plastic bag production," Uppsala University, 2012.

[16] Sustainability Victoria, "Comparison of existing life cycle analysis of shoppng bag alternatives." p. 26, 2007.

[17] M. D. Tabone, J. J. Cregg, E. J. Beckman, y A. E. Lyis, "Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment y Green Design in Polymers," Environ. Sci. Technol., vol. 44, no. 21, pp. 8264–8269, 2010.

[18] J. J. Kolstad, E. T. H. Vink, B. De Wilde, y L. Debeer, "Assessment of anaerobic degradation of IngeoTM polylactides under accelerated lyfill conditions," Polym. Degrad. Stab., vol. 97, no. 7, pp. 1131–1141, 2012.

[19] M. R. Yates y C. Y. Barlow, "Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—A critical review," Resour. Conserv. Recycl., vol. 78, no. 0, pp. 54–66, 2013.

[20] V. Piemonte y F. Gironi, "Bioplastics y 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.

Imágenes de clipart de acceso libre: www.clker.com