

Circularidad para los Plásticos: Reciclado Post-uso vs Fabricación de Plásticos Biodegradables

¹Alma Karina Delgado Villaseñor, ²María Maldonado Santoyo

¹Departamento de Ingeniería Bioquímica, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.

²Procesos Industriales y Energía. Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. León, Guanajuato, México.
msantoyo@ciatec.mx

Recibido: 19 de abril de 2021

Aceptado: 24 de mayo de 2021

RESUMEN

En este trabajo se detallaron cualitativamente algunas ventajas y desventajas sobre dos alternativas que puedan coadyuvar a mejorar la circularidad para los plásticos: 1) reciclado de residuos plásticos post-uso y 2) fabricación de plásticos biodegradables. Para ello, se efectuó una revisión bibliográfica para cada alternativa, después se elaboró cualitativamente una tabla comparativa y se realizó un diagrama general siguiendo las pautas para una economía circular. La información observada, muestra que el reciclaje de plásticos post-uso contribuye a la reducción de la contaminación, conservación de recursos naturales, generación de empleos, creación de nuevos productos y fomenta una economía circular. Mientras que, los plásticos biodegradables, aún son novedosos, presentan cierta ambigüedad sobre sus impactos ambientales, son más difíciles de diferenciar y de reciclar, requieren condiciones específicas para su rápida y adecuada reintegración al medio ambiente y se continuaría con la cultura de un solo uso. De esta manera, el reciclaje de plástico post-uso se percibió como una mejor alternativa sostenible para la circularidad de los plásticos.

Palabras claves: Residuos plásticos, Reciclaje, Economía circular, Biodegradables

ABSTRACT

In this work, some advantages and disadvantages were qualitatively detailed on two alternatives that may contribute to improving circularity for plastics: 1) recycling of post-use plastic waste and 2) fabrication of biodegradable plastics. To do this, a bibliographic review was carried out for each alternative, then a comparative table was qualitatively elaborated and, general diagram was made following the guidelines for a circular economy. The information observed shows that the post-use plastics recycling contributes to reducing pollution, conserving natural resources, creating jobs, creating new products and promoting a circular economy. While biodegradable plastics are still novel, they present some ambiguity about their environmental impacts, are more difficult to differentiate and recycle, require specific conditions for their rapid and adequate reintegration into the environment and the single-use culture would continue. In this way, the post-use plastic recycling was perceived as a better sustainable alternative for the circularity of plastic.

Key words: Plastic waste, Recycling, Circular Economy, Biodegradable

1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son una familia notable de materiales que ha atraído la atención recientemente debido a su impacto en la economía global, las bajas tasas de recuperación y los impactos ambientales asociados con los métodos de eliminación de estos materiales una vez cumplida su vida de uso (OCDE, 2018). Típicamente son polímeros orgánicos de alto peso molecular, que a menudo contienen otras sustancias y aditivos para mejorar su rendimiento. Pueden ser fabricados a partir de materias primas naturales o sustancias sintéticas, usualmente derivadas del petróleo (SAPEA, 2020; Sidek et al., 2019). Son considerados como uno de los grandes avances debido a sus múltiples posibilidades de uso en el sector industrial, comercial y personal. Son populares debido a que son económicos, livianos, resistentes a la oxidación, estables a las condiciones atmosféricas, durables, con buenas propiedades mecánicas, físicas, ópticas y de barrera, que pueden moldearse con presión y calor y ser coloreados en diferentes tonos (Komal et al., 2019; OCDE, 2018; Ogundairo et al., 2021; Muhonja et al., 2018; Portillo et al., 2016; Ru et al., 2020). Sin embargo, también experimentan diversas acciones en contra como puede ser, que no todos los plásticos son susceptibles de reciclaje tradicional; la mayoría de ellos son altamente resistentes a la degradación física y química (OCDE, 2018), presentan baja biodegradabilidad (Kubowicz et al., 2017; Ogundairo et al., 2021) o no suelen resistir altas temperaturas (Roosen et al., 2020). De forma general, con base a estas características, los plásticos suelen catalogarse como termoplásticos, los cuales pueden ser moldeados más de una vez y los termoestables, que sólo pueden ser moldeados una vez (Karmakar, 2020; Kehinde et al., 2020; Ogundairo et al., 2021). A nivel mundial, los plásticos más utilizados son de tipo termoplástico como el polietileno (PE) con una producción global de aproximadamente 36 %, polipropileno (PP) (21 %), policloruro de vinilo (PVC) (12 %), polietileno tereftalato (PET) y poliestireno (PS) (<10 % cada uno) (Lamberti et al., 2020; Muhonja et al., 2018; Sidek et al., 2019; Kubowicz et al., 2017; Lopez et al., 2017). Cuya producción tradicional implica la transformación de petróleo o gas natural en sus monómeros constituyentes, lo cual consume mucha energía, provocando emisiones de efecto invernadero de hasta 400 millones de toneladas en todo el mundo (OCDE, 2018).

A pesar de ello y derivado de los diversos cambios que imperan en la sociedad a causa de la globalización, se ha llegado a la problemática del uso indiscriminado de productos plásticos provenientes de recursos fósiles, siendo estos no renovables y poco amigables con el medio ambiente (Kehinde et al., 2020; Ahmed et al., 2018; Ru et al., 2020; Portillo et al., 2016). Esto ha provocado un crecimiento en la producción de plásticos por arriba de 4000 % desde 1960, produciéndose actualmente más de 300 millones de toneladas al año (Ellen MacArthur Foundation, 2020; Kehinde et al., 2020; OCDE, 2018; Sabbah et al., 2017; Urbanek et al., 2018). Se pronostica, que para el 2050, habrá una producción global de 26 mil millones de toneladas de residuos plásticos de los cuales, más de la mitad acabará en verteros, incinerados o en el medio natural (Greenpeace, 2018; Koketso et al., 2021; OCDE, 2018; Ru et al., 2020; Zero Waste Europe, 2017). Según algunos autores, en el 2015, sólo cerca de un 9 % de los residuos plásticos fue reciclado, el 12 % fue incinerado y el 79 % fue acumulado en vertederos o en el medio natural (Koketso et al., 2021; OCDE, 2018; Ojeda, 2019). Todo esto, ha ocasionado, que el consumo inmoderado del plástico esté causando diversas afectaciones ambientales, sociales, económicas y daños a la salud humana y a la fauna, derivadas principalmente, por los grandes volúmenes de producción y la inadecuada gestión de dichos residuos, una vez cumplida su vida de uso (Ru et al., 2020; CIEL, 2019; OCDE, 2018). Aunado a ello, considerando que la mayoría de los plásticos convencionales son recalcitrantes a la degradación microbiana, lo cual hace que la mayoría de estos residuos tarden décadas en descomponerse a condiciones ambientales naturales (Ojeda, 2019; Sidek et al., 2019). Conjuntamente, con el cuestionable proceso de reciclaje y la poca cultura ambiental entre la sociedad, el sector productivo y de gobierno, se ha favorecido a su acumulación y persistencia en diversos ecosistemas como los océanos, ríos, suelos, vertederos, coladeras y drenajes (Kehinde et al., 2020; Komal et al., 2019; Urbanek et al., 2018; Sidek et al., 2019). Esto se debe a que aproximadamente el 50 % de los plásticos producidos se destinan a aplicaciones de un solo uso (consumir, utilizar y desechar) cuyo tiempo de uso es menor de un mes (Arteaga et al., 2018). De tal modo, que cada día cobra más importancia la reutilización de estos productos plásticos post-uso, o en su caso la creación de plásticos que estén más comprometidos con la salud ambiental (Gómez, 2016).

1.1 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

En los últimos años, han surgido diversas propuestas de plásticos que son más amigables con el medio ambiente respecto a los plásticos convencionales. Dentro de esas propuestas se encuentran los denominados plásticos

biodegradables. En específico, estos materiales son plásticos que pueden descomponerse en elementos naturales (agua, dióxido de carbono, compuestos inorgánicos o biomasa) con ayuda de microorganismos (bacterias, hongos y algas), a condiciones naturales del medio ambiente que permitan su crecimiento (Zero Waste Europe, 2017; Garrison et al., 2016; Kumar et al., 2017). Sin embargo, para que un plástico biodegradable sea denominado como “compostable” debe evaluarse su biodegradabilidad y compostabilidad bajo condiciones controladas aeróbicas o anaeróbicas de composteo (humedad, temperatura, oxígeno) y en un tiempo determinado (4-6 meses) dependiendo del material de prueba y que no deje residuos tóxicos visibles (ASTM, 2015; ISO, 2005; Ecoplas, 2020a; NYCE, 2019). En este apartado, es importante comentar que un plástico biodegradable no necesariamente es compostable, mientras que, un plástico compostable necesariamente es biodegradable (Ecoplas, 2020a). Actualmente, este tipo de plásticos constituye sólo un pequeño volumen (0.3-1.5 %) del plástico total en el mercado, a nivel mundial (SAPEA, 2020; Ecoplas, 2020a), aunque va en aumento. Pueden ser elaborados, a partir de materias primas renovables (biomasa), producidos por microorganismos o de origen petroquímico (Garrison et al., 2016; Velásquez et al., 2016; Ecoplas, 2020a; Panchal, 2016). En la tabla 1 se presenta una clasificación general para los plásticos, considerando plásticos biodegradables y plásticos no biodegradables (convencionales).

Tabla 1: Clasificación de los plásticos

Plásticos			
No biodegradables (Convencionales)		Biodegradables	
Recursos fósiles (petróleo/gas)	Origen vegetal o animal (Biomasa)	Vía fermentativa	Origen petroquímico
*Polipropileno (PP) *Poliétileno (PE) *Poliestireno (PS) *Polivinil cloruro (PVC) *Poliuretano (PU) *Poliétileno tereftalato (PET) *Poliamida (PA) *Mezclas biológicas: bio-polipropileno, bio-poliétileno.	*Polisacaridos: almidón de maíz, trigo, yuca o papa; productos ligno- celulosicos (ej. madera, paja); pectina, quitina, caucho, resinas, etc. *Proteína animal: queratina, colágeno, seda, caseína, suero, gelatin. *Proteína vegetal: soya, gluten, algas, zeína, etc.	*Polihidroxialcanoatos (PHA). *Polihidroxibutirato (PHB) *Polihidroxivalerato (PHV). *Ácido poliláctico (PLA).	*Policaprolactona (PCL) *Polibutileno succinato (PBS) *Polibutileno adipato-co-tereftalato (PBAT) *Polipropilentereftalato (PPT), *Naftalato de polietileno (PEN), *Naftalato de polibutileno (PBN), *Poliétilentereftalato (PET) *Succinato de polibutileno (PBS), *Succinato de polietileno (PESu), *Polibutileno succinato-adipato (PBSA), *Polibutilenadipate (PBAAd)

Fuente: elaboración propia a partir de Ecoplas 2020a; Garrison et al., 2016; Kumar et al., 2017; Ogundairo et al., 2021; Panchal, 2016; Sidek et al., 2019; Velásquez et al., 2016

1.2 RECICLAJE DE PLÁSTICOS

El reciclaje de plásticos es el proceso de recolectar y procesar materiales, a partir de residuos post-consumo doméstico, industrial, comercial y agrícola (considerados como basura) y convertirlos en materia prima para producir nuevos materiales o productos. Es una acción de vital importancia, ya sea como una alternativa para lidiar con los residuos que a diario generamos y los ya existentes, o bien, como un posible componente de los sistemas de economía circular y cero residuos que tienen como objetivo reducir la generación de residuos y aumentar la sostenibilidad (OCDE, 2018; Karmakar, 2020; Ecoplas, 2020b). De forma general, el proceso de reciclaje de residuos plásticos post-uso puede efectuarse mediante alguno de los siguientes mecanismos:

- 1) Reciclaje primario: Este método es utilizado a menudo por las industrias para reciclar los desechos y subproductos del mismo material plástico generado durante su proceso de producción, ya que es fácilmente identificable y los residuos generalmente no están contaminados. El plástico recuperado se convierte a productos terminados, mediante su reprocesamiento (re-extrusión) (Koketso et al., 2021; Karmakar, 2020, Ecoplas 2020b).
- 2) Reciclaje secundario o reciclado mecánico: Es el reciclaje más utilizado (tradicional) y se refiere a la recuperación de residuos plásticos mediante tecnologías físicas, para su transformación a productos

terminados o semi-terminados (reciclados de plástico). Dependiendo del tipo de residuo plástico a reciclar puede contener las etapas de recolección, clasificación, limpieza/lavado, separación de plásticos, trituración, secado y centrifugado, homogeneización, extrusionado, filtrado y granceado. Este proceso es el más adecuado para plásticos de un solo componente. Además, evita cambios en las estructuras y propiedades de los plásticos, conlleva bajos costos operativos y son fáciles de operar. Sin embargo, la tasa de recuperación mecánica es baja y con aplicaciones limitadas, pues depende del material plástico (Koketso et al., 2021; Karmakar, 2020).

- 3) Reciclaje terciario o reciclado químico: Se refiere a tecnologías que permiten recuperar materias primas químicas con alguna combinación de calor, presión, oxígeno, catalizadores, disolventes o de formabiológica tales como la pirólisis, craqueo, la despolimerización (térmica, química), solvólisis (aisla las cadenas moleculares sin romperlas) o con disolventes, que dividen los polímeros en monómeros. Estas últimas tienen una menor huella de carbono porque sus procesos no requieren energía. Sin embargo, el reciclaje químico aún no está implantado a escala comercial, limitando su aplicación. (Koketso et al., 2021; Karmakar, 2020; Ecoplas, 2020b).
- 4) Reciclaje cuaternario o combustible diseñado por proceso: consiste en la conversión de plásticos pre-consumo o post-consumo en un combustible industrial (gas, fuel) que cumpla con las especificaciones del mercado. Por ejemplo, la hidrogenación, donde se obtiene un combustible líquido al aplicar altas temperaturas a los plásticos en presencia de hidrógeno o bien, la gasificación, que convierte al plástico en un gas combustible mediante una serie de reacciones en presencia de oxígeno o hidrógeno. Cuando todos los procesos de recuperación del residuo plástico fallan por razones económicas, se queman para producir energía térmica convertida en agua caliente, vapor y electricidad (Koketso et al., 2021; Karmakar, 2020; Ecoplas, 2020b).
- 5) Vertederos (relleno sanitario): Esta debe ser la última opción para la gestión de residuos plásticos, aunque se considera indispensable para albergar residuos no reciclables ni combustibles, con relativamente menos contaminación ambiental (Karmakar, 2020; Koketso et al., 2021).

1.3 ECONOMÍA CIRCULAR PARA LOS PLÁSTICOS

Considerando el modelo tradicional de una economía lineal –extraer recursos, fabricar, usar y desechar- conlleva el uso de grandes cantidades de materias primas y energía, y este ha sido durante varios años, el elemento base para el desarrollo industrial (Cerdá et al., 2016). Sin embargo, en fechas recientes, la escasez de diversos recursos naturales, la generación de residuos derivados del crecimiento de la población y los patrones de consumo social, muestran que se requiere un cambio del modelo lineal tradicional. Para ello, es necesario romper paradigmas y abordar la gestión de los residuos plásticos, desde una visión de circularidad. En este contexto, el modelo de economía circular considera el aprovechamiento de las materias primas como prioritario, en todas las etapas del ciclo de vida del producto, proceso o servicio, para favorecer el uso racional de los recursos naturales y el desarrollo sostenible (Arroyo, 2018; Espaliat, 2017). Es regenerativa y restaurativa desde el diseño considerando acciones basadas en la regla de las 7R: Rediseñar, Reducir, Reutilizar, Reparar, Renovar, Reciclar y Recuperación energética (Ecoplas, 2020 a, b) que permitan ampliar y maximizar el valor de los productos mientras están en uso y después, mediante las adecuadas prácticas de reúso y reciclaje, se recuperan, regeneran o fabrican nuevos productos al final de su vida útil. Dichas acciones proveen beneficios a corto y largo plazo como son el mejoramiento en la competitividad, eficiencia de los recursos naturales, desarrollo industrial, creación de empleos y reducción de fuentes contaminantes y de efectos medioambientales (Ellen MacArthur Foundation, 2018; Sherwood, 2020).

De acuerdo con lo anterior, el propósito de este trabajo fue particularizar cualitativamente algunas ventajas y desventajas de dos alternativas para la gestión de los residuos plásticos: 1) reciclado de residuos plásticos post-uso y 2) fabricación de plásticos biodegradables. Esto con la finalidad de obtener información más detallada sobre cada alternativa estudiada, que permita comprender algunas pautas que pueden interaccionar en la circularidad de los residuos plásticos.

2. METODOLOGÍA

El procedimiento consistió en la revisión bibliográfica de diferentes fuentes informativas, artículos, sitios web de organizaciones especializadas en el tema, libros y tesis. Después de la revisión se elaboró una tabla cualitativa con las posibles ventajas y desventajas para cada una de las alternativas revisadas: 1) Reciclado de residuos plásticos post-uso y 2) fabricación de plásticos biodegradables. Para ello, se tomaron como ventajas los puntos fuertes

(fortalezas y oportunidades); mientras que, para las desventajas fueron los puntos débiles (debilidades y amenazas). Para las fortalezas, se consideraron las competencias inherentes a cada alternativa estudiada, en las cuales tienen buen desempeño, generan ventajas y beneficios. En su contraparte, para las debilidades, se supusieron las deficiencias o carencias, que pueden provocar bajo desempeño, con lo cual se generan desventajas. Mientras que, para definir las oportunidades y amenazas se consideraron principalmente algunos factores del entorno. Para la primera, se observó con un enfoque en el aspecto de mercadeo que pueda ser beneficioso para cada alternativa estudiada y para la segunda fueron las posibles circunstancias adversas que pueden afectarles en su implementación y desarrollo, tales como cambios o tendencias que se presentan repentinamente y crean una condición de inestabilidad e incertidumbre. Después se propuso un diagrama general para cada una de ellas, siguiendo las pautas para una economía circular.

3. RESULTADOS

En la tabla 2 se enlistan, de forma general, algunas ventajas y desventajas para la alternativa 1: reciclado de residuos plástico post-uso.

Tabla 2. Ventajas y desventajas para el reciclado de residuos plásticos post-uso.

Ventajas (Puntos fuertes)	Referencias	Desventajas (Puntos débiles)	Referencias
Fortalezas		Debilidades	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprovechamiento de residuos plásticos. ✓ Reducción en el consumo de materias primas y energía. ✓ Conservación de recursos naturales. ✓ Reducción de la contaminación. ✓ Reducción de emisiones de gases efecto invernadero. ✓ Reducción de daños a la salud. ✓ Reducción de residuos sólidos en vertederos. ✓ Reducción en el costo de implementación. ✓ Optimiza la vida útil de vertederos. ✓ Fortalece la metodología de las 7R's. ✓ Generación de materias primas, productos terminados y/o energía ✓ Contribuye a la sostenibilidad ambiental. ✓ Favorece a una economía circular 	<p>CIEL, 2019</p> <p>Ecoplas, 2020a, b, 2021 East, 2016</p> <p>Ellen MacArthur F., 2018</p> <p>Grigore, 2017 Kehinde et al., 2020 Koketso et al., 2021 Lopez et al., 2017 Ogundairo et al., 2021 Sherwood, 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Poca cultura de reciclaje. ❖ Limitado interés por parte de la sociedad e industria. ❖ Deficientes y/o costosos sistemas de recolección, clasificación y separación. ❖ Diferentes materiales poliméricos. ❖ Mezclas de plásticos en un mismo producto ❖ Desconocimiento sobre los diversos métodos de reciclaje. ❖ Menor calidad en el material reciclado. 	<p>Encalada et al., 2018</p> <p>Lopez et al., 2017</p> <p>Koketso et al., 2021</p> <p>OCDE, 2018</p> <p>Roosen et al., 2020</p> <p>Sidek, et al., 2019</p> <p>Vázquez et al., 2016</p> <p>Verdejo et al., 2021</p>
Oportunidades		Amenazas	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valorizar (dar valor agregado). ✓ Mejorar los sistemas de gestión de residuos. ✓ Desarrollar tecnologías eficaces de recolección, clasificación y reciclaje. ✓ Impulsar la creación de negocios. ✓ Coadyuvar a la generación de empleos. ✓ Promover la participación ciudadana, industrial y de gobierno. ✓ Fomentar la conciencia ambiental. ✓ Motivar el diseño y fabricación de nuevos materiales y/o productos reciclados. ✓ Mantener una economía circular durante varios ciclos. 	<p>Ellen MacArthur F., 2018</p> <p>Lopez et al., 2017</p> <p>OCDE, 2018</p> <p>Kehinde et al., 2020</p> <p>Koketso et al., 2021</p> <p>Ecoplas, 2020a East, 2016</p> <p>Grigore, 2017</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Afectación del proceso de reciclaje por otros materiales. ❖ Escasos programas de apoyos gubernamentales y/o privados. ❖ Comercialización limitada del producto reciclado. ❖ Variaciones en el precio del material reciclado. ❖ Resistencia por parte de los consumidores para adquirir materiales reciclados. ❖ Riesgos inherentes a la recuperación informal de materiales reciclados. 	<p>Lopez et al., 2017</p> <p>OCDE, 2018</p> <p>Kehinde et al., 2020</p> <p>Koketso et al., 2021</p> <p>Vázquez, et. al., 2016</p>

En la tabla 3 se presentan algunas ventajas y desventajas para la alternativa 2: fabricación de plásticos biodegradables.

Tabla 3. Ventajas y desventajas para la fabricación de plásticos biodegradables.

Ventajas (Puntos fuertes)	Referencias	Desventajas (Puntos débiles)	Referencias
Fortalezas		Debilidades	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Producto novedoso. ✓ Innovación del material plástico. ✓ Uso de materias primas renovables y amigables con el medio ambiente. ✓ Mejor biodegradabilidad. ✓ Menor permanencia en el ambiente. ✓ Mayor desintegración. ✓ Menor ecotoxicidad. ✓ Contribuyen a que el ciclo vital siga en curso. ✓ Menor huella de carbono. 	<ul style="list-style-type: none"> Arteaga et al., 2018 Karmakar, 2020 Koketso et al., 2021 Kubowicz et al., 2017 Sidek et al., 2019 Thakur et al., 2018 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Mayor costo. ❖ Que no sea compostable. ❖ Limitada vida útil del producto. ❖ Limitadas propiedades mecánicas. ❖ Mezcla de materiales y aditivos. ❖ Difícil de diferenciar y de reciclar. ❖ Dependen del lugar, estructura química y de las condiciones ambientales para su biodegradabilidad. ❖ Libera gases de efecto invernadero. ❖ Falta de conocimiento sobre las condiciones óptimas para su descomposición. ❖ Continuar con el hábito en la sociedad de adquirir, usar y desechar creyendo que se degradan fácilmente. ❖ Interfiere con el proceso de reciclado de plástico convencional. ❖ Que solo se desintegren en fragmentos contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> Greenpeace, 2018 Karmakar, 2020 Kubowicz, et al., 2017 Lamberti et al., 2020 Muhonja et al., 2018 Sabbah et al., 2017 SAPEA, 2020 Thakur et al., 2018 ZeroWaste Europe, 2017
Oportunidades		Amenazas	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impacto sustentable en el mercado. ✓ Fácil alcance de la materia prima. ✓ Cumple con la necesidad del mercado de brindar productos más amigables con el medio ambiente. ✓ Interés creciente del mercado convencional y de la sociedad. ✓ Puede coadyuvar a recuperar nutrientes en suelos. ✓ Promover campañas de concientización ambiental. ✓ Motivar políticas públicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Ecoplas, 2020 a, b Kubowicz et al., 2017 Karmakar, 2020 Koketso et al., 2021 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Creencia erróneas de que se degradan fácilmente a condiciones ambientales naturales. ❖ Comercialización ambigua ❖ Elevado grado de existencia de productos sustitutos. ❖ Falta de apoyo por parte de instituciones gubernamentales. ❖ Posible deforestación, si no se tiene un uso adecuado de los recursos naturales. ❖ Aumento en el precio de cereales de uso alimenticio. ❖ Disminución de la productividad y calidad de suelos agrícolas. ❖ Afectación al cambio climático 	<ul style="list-style-type: none"> Ecoplas, 2021 Koketso et al., 2021 Sidek et al., 2019 Ellen MacArthur Foundation, 2018

En la figura 1 se presenta un diagrama general para cada alternativa estudiada, considerando un mecanismo de circularidad.

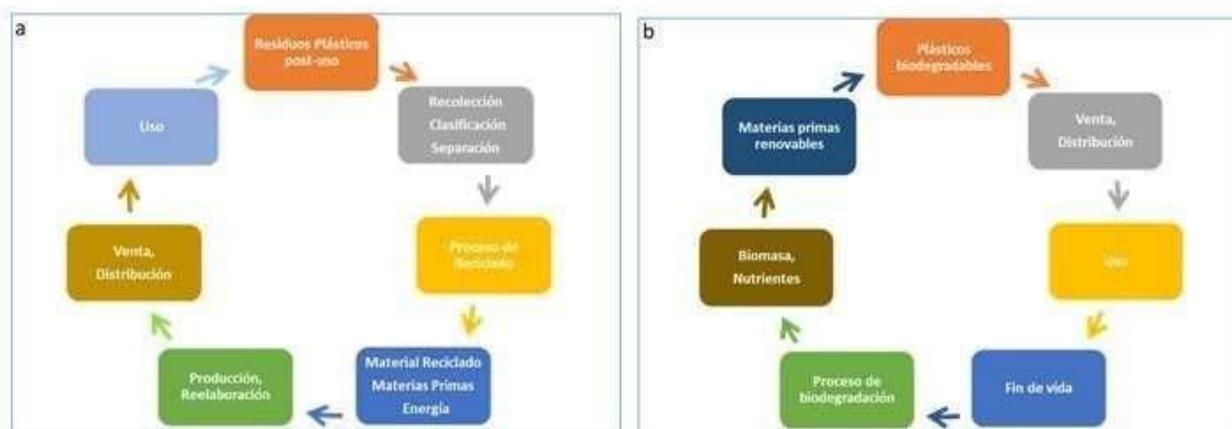


Figura 1. Diagrama de circularidad para: a) reciclado de productos plásticos post-uso y b) fabricación de plásticos biodegradables.

4. DISCUSION

4.1 RECICLADO DE PLÁSTICOS POST-USO.

En la tabla 2, se puede observar que algunas de las ventajas que tiene el reciclado de los productos plásticos post-uso como fortalezas son: que coadyuva en la reducción de diversos problemas ambientales y fortalece la conservación de los recursos naturales; beneficia la conservación de la energía (hasta en un 80%), ya que se requiere menos materias primas para hacer los productos provenientes del reciclaje; reemplaza la necesidad de extracción de materias primas (renovables y no renovables) y la fabricación de nuevos plásticos con material virgen; evita daños a la salud como pueden ser desórdenes en el metabolismo cardiovascular, renal, gastrointestinal, neurológico, reproductivo, respiratorio e incluso cáncer y diabetes (CIEL, 2019) y muertes de algunas especies marinas; supone un beneficio ambiental positivo, reduciendo el uso de vertederos para la disposición de estos residuos (Lopez et al., 2017), fortalece las acciones de las 7R y reduce las emisiones de efecto invernadero (Ecoplas, 2021; Sherwood, 2020; CIEL, 2019; OCDE, 2018; Koketso et al., 2021). Mientras que, como oportunidades se puede observar que fomenta la creación de una economía circular convirtiendo al plástico en un recurso con valor en todo su ciclo de vida, contribuyendo de esta manera directa o indirectamente al desarrollo de nuevos negocios y tecnologías, generación de empleos (formales e informales) y promueve la educación ambiental mediante la participación ciudadana, industrial y gubernamental para mantener el máximo valor de los recursos necesarios para una sociedad sostenible (East, 2016; Grigore, 2017).

Sin embargo, en su contraparte, también presenta algunas desventajas (debilidades y amenazas). La mayoría de ellas derivan principalmente, por la falta de educación ambiental, participación social y en algunos casos también, por cuestiones políticas, económicas o comerciales ya sea desde el gobierno o de sectores específicos. Estas acciones entorpecen las acciones de las 7R, como es el reciclaje de estos residuos. Tan sólo acciones, como el no separar la basura de la forma correcta, ocasiona que residuos que pueden ser recuperables o sujetos al reciclaje se contaminen con otros residuos (que pueden o no ser tóxicos), haciendo que el proceso de reciclado se dificulte, y así mismo afectando la calidad del material plástico reciclado (East, 2016; Roosen et al., 2020). Por ejemplo, según Vázquez et al. (2016), los plásticos que originalmente se utilizaron como envases, al reciclarse se destinan a otro uso, debido a que en ocasiones no cumplen con los requisitos sanitarios establecidos en la industria alimenticia. Derivado de

ello, es que gran parte de las investigaciones reportadas en la literatura, están enfocadas en el desarrollo de nuevos materiales a partir de la mezcla de un material reciclado con algún otro componente o aditivos, que le permitan mejorar sus propiedades y así puedan ser empleados para crear otros productos (Velásquez et al., 2016). Sin embargo, acciones como éstas afectarían la eficiencia del proceso de reciclado tradicional (mecánico) de los productos post-uso, reduciendo su valor y tiempo de vida del producto plástico. Además, algunos estudios han demostrado que el reciclaje mecánico no es suficiente, ya que la mayoría de los plásticos acaban en vertederos secundarios, incinerados o exportados a otros países, persistiendo los efectos de la contaminación en el ambiente, debido al problema de no poder reciclar algunos plásticos como los termofijos y elastómeros, ya que son difíciles de fundir y poseen una estructura altamente reticulada (Vázquez et al., 2016; Karmakar, 2020). Para ello proponen el reciclaje químico tales como la solvólisis o la pirolisis; ya que permite obtener materias primas y combustibles, mediante el tratamiento de plásticos contaminados o mezclados (Ecoplas, 2021). No obstante, presenta el inconveniente de ser costoso, necesita un alto requerimiento energético y no están claros los impactos ambientales que puede desarrollar, pues son específicos para cada material plástico.

4.2 FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.

Ahora bien, para los plásticos biodegradables (tabla 3), destacan como ventajas que son productos novedosos que pueden elaborarse a partir de diversas fuentes renovables ya sea animal (colágeno, queratina), marina (quitina, quitosán), agrícola (lípidos, proteínas y polisacáridos) o microbiana (ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos) (Arteaga et al., 2018; Thakur et al., 2018). Y al ser mezclados y procesados convenientemente, obtienen propiedades físico-mecánicas similares a los plásticos convencionales, lo cual permite su utilización para la fabricación de diferentes artículos, siendo el mercado más común los plásticos de corta vida o de un solo uso, es decir, los desechables: vasos, cubiertos, bolsas, platos, etc. Así mismo, contribuyen con el medio ambiente, ya que al descomponerse no suelen producir residuos tóxicos y presentan una desaparición rápida bajo condiciones determinadas de humedad, luz solar y oxígeno, permitiendo que los componentes se reintegren a la naturaleza en

menor tiempo, mediante la acción enzimática, lo cual contribuye a que el ciclo vital siga su curso (Kubowicz et al., 2017; Thakur et al., 2018). Mientras que, algunas de las desventajas derivan de un mayor costo, vida útil limitada, bajas propiedades mecánicas (Thakur et al., 2018) y prevalece la dificultad para su diferenciación de otros materiales plásticos, para evaluar su recuperación y reciclado (Zero Waste Europe, 2017). Además, considerando que las materias primas para su fabricación provienen principalmente de recursos agroindustriales, su demanda puede afectar la productividad y calidad de los suelos y provocar deforestación. Ahora bien, dado que la biodegradación de los plásticos, es un proceso complejo que conlleva varias etapas (bio-deterioro, despolimerización, y mineralización) para su completa descomposición a moléculas simples, este proceso puede tardar desde meses o hasta varios años en completarse dependiendo tanto de las condiciones ambientales del entorno como del plástico (Muhonja et al., 2018; Thakur et al., 2018). Es importante repensar que si bien, los plásticos biodegradables pueden reducir los riesgos ecológicos asociados con el daño físico a la vida silvestre y al medio ambiente, sus posibles nuevos peligros y efectos, en comparación con los plásticos convencionales están vinculados a su biodegradabilidad real e incluye efectos sobre la ecología, ciclos biogeoquímicos, tasas de liberación y efectos de aditivos y productos de biodegradación intermedia. También se tiene que considerar que la velocidad de biodegradación depende significativamente entre ambientes (suelo, agua, vertederos) con factores ecológicos y estacionales específicos y de la composición y estructura química del material plástico (Thakur et al., 2018; SAPEA, 2020).

Así mismo, según lo expuesto por Kubowicz, et al., (2017) los plásticos denominados como “biodegradables”, no son mejores para el medio ambiente, pues a pesar de ser compuestos derivados de recursos naturales, no son necesariamente biodegradables y compostables, lo cual crea ambigüedad en sus impactos al ambiente y confusión entre los usuarios finales. Estos plásticos pueden biodegradarse en menor tiempo, sólo si se garantizan las condiciones requeridas para ello, siendo el más común el composteo, ya sea a condiciones aeróbicas o anaeróbicas controladas de humedad (aprox. 50 %) y temperatura entre 45-60 °C (ASTM, 2015; ISO, 2005) que permita el crecimiento microbiano. Por otro lado, en los vertederos, los plásticos biodegradables a menudo se degradan sin oxígeno, liberando metano, el cual es un gas de efecto invernadero 23 veces más contaminante que el dióxido de carbono, para lo cual se debe contar con el equipamiento adecuado para que sea retenido y así evitar la emisión de este gas a la atmósfera; o bien, corren el riesgo de ser quemados lejos, contribuyendo a la contaminación de basura terrestre y marina (Zero Waste Europe, 2017; Vázquez et al., 2018). No obstante, estos materiales presentan una alternativa sostenible de cierre de ciclo de vida mediante la degradación y el compostaje. Con relación a esto, la economía circular establece que, en el ámbito de los ciclos biológicos, favorece procesos como la digestión anaeróbica, el compostaje y el uso en cascada de residuos y subproductos de tipo orgánico, tales como los derivados de las actividades agroalimentarias. Debido a esto, si los recursos naturales no son usados de manera apropiada puede generar problemas como la contaminación por fertilizantes vertidos sobre la tierra, reducción del terreno para la producción de alimentos llevando a un posible aumento en el costo de los cereales básicos, pérdida de nutrientes y deforestación, además de que requiere de condiciones exigentes de procesamiento, sistemas de manejo de residuos específicos y altos costos. De igual forma, en algunos casos estos plásticos solo se reducen en pequeños fragmentos, que puede que no se biodegraden totalmente, continuando en el medio ambiente y generando contaminantes microplásticos, los cuales pueden ser ingeridos por la fauna y terminar en la cadena alimenticia causando afectaciones a la salud; o bien, inhibir el crecimiento de plantas marinas, perturbando la producción de oxígeno que estas desarrollan en el proceso de fotosíntesis, lo cual puede tener consecuencias para el cambio climático y calentamiento global (Greenpeace, 2018; Lamberti et al., 2020).

4.3 ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PLÁSTICOS.

Ahora bien, considerando que la economía circular consiste en un flujo cíclico que incluye diversas actividades tales como extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios. Se puede observar que ambas alternativas (figura 1), dependiendo de las actividades y mecanismos de operación, pueden favorecer en mayor o menor grado, a fomentar la circularidad de los plásticos, una vez cumplida su vida de uso. Además, considerando el incremento de precios, los riesgos en la cadena de suministro de materias primas y las crecientes presiones políticas y gubernamentales, es necesario repensar en el uso de las materias primas y energía de una forma más eficiente y sostenible con el medio ambiente (Ellen MacArthur Foundation, 2018). En este contexto, con respecto al reciclado de los plásticos post-uso, las actividades propuestas van encaminadas a acciones para el manejo adecuado, consumo responsable y alargar lo más que se pueda, la vida útil de estos productos. Se pueden

aprovechar como fuente energética por su alto poder calorífico, lo cual debe realizarse a condiciones controladas de incineración para evitar la emisión de gases de efecto invernadero o bien, reciclarlos y valorizarlos para obtención de nuevos materiales y productos (Ecoplas, 2021). Por ejemplo, algunas acciones encaminadas hacia el reciclaje de estos residuos, que permitan optimizar su identificación entre la sociedad e industria, es su clasificación internacional, donde se utilizan siglas y un código de reciclaje, así para el Polietileno tereftalato (PET, 1); Polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE, 2); Policloruro de vinilo (PVC, 3); Polietileno de baja densidad (PEBD/LPDE, 4); Polipropileno (PP, 5); Poliestireno (PS, 6) y otros plásticos como policarbonato (PC), nailon, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), entre otros, se denominan con el código de reciclaje 7 (Ojeda, 2019; Vázquez, 2016). Mientras que, la fabricación de plásticos biodegradables está más enfocada al desarrollo de plásticos que sean biodegradables, aunque no necesariamente sean compostables. Esto principalmente para cumplir con regulaciones normativas, principalmente en el ámbito de los plásticos de un solo uso y que cada vez es más exigente (Roosen et al., 2020). Sin embargo, como ya se mencionó, tienen como principal inconveniente que requieren condiciones ambientales específicas, que permitan su rápida degradación y así lograr su adecuada restitución al ciclo de vida, ya sea como biomasa o nutrientes que sirvan para la regeneración de suelos o crecimiento de plantas (Encalada, et al., 2018; Sidek, et al., 2019). Aquí es importante remarcar que estos plásticos no se degradan si se tiran a la calle, a un terreno baldío, sitio de disposición de residuos, al mar, lagunas o ríos que tengan baja actividad biológica. Por lo que, de seguir con las acciones de consumir, utilizar y desechar solo porque dichos productos son clasificados como biodegradables, la afectación por la contaminación de residuos plásticos continuará. Así mismo, pueden perturbar la recolección de plásticos ya establecida y los procesos de reciclaje tradicionales, lo cual ocasionaría dificultad y costo para la clasificación de los plásticos reciclables de los no reciclables (Zero Waste Europe, 2017; Panchal, 2016).

5. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.

De forma general, es necesario tomar conciencia de que la gestión adecuada de los plásticos y cualquier otro residuo, conlleva las acciones jerárquicas de prevenir, minimizar, reducir, reutilizar, reciclar, incinerar y disponer. Y en virtud de que el mejor residuo es el que no se genera, se debe buscar una alternativa que presente un equilibrio entre el satisfacer una necesidad y el impacto que dejará una vez cumplida su vida de uso.

Es importante recordar que tanto el reciclaje de residuos plásticos post-uso y la fabricación de plásticos biodegradables solo son algunas alternativas que permiten manejar de forma más sustentable los recursos y favorecer una economía circular. Con este enfoque, el proceso de reciclaje destaca, pues promueve la reducción y reutilización de los residuos plásticos post-uso para maximizar su ciclo de vida, como una práctica común, tanto en la industria como en la sociedad. Para ello, es necesaria la participación ciudadana, del gobierno y de la industria para en conjunto implementar acciones adecuadas para su separación, recolección y clasificación, lo cual coadyuvará a eficientar el proceso de reciclado para obtener materiales de mejor calidad y con mayor valor agregado que puedan reintegrarse en el mercado de los materiales para elaboración de nuevos productos, contribuyendo de esta manera, a su circularidad. Con ello, se favorecerá a la preservación de los recursos naturales, generación de nuevas materias primas, reducción de afectaciones ambientales, daños a la salud y una mejor sostenibilidad de nuestra sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A., Noman, M., Hameed, A., Manzoor, N., Manzoor, I., and Muhammad, S. (2018). "Biodegradation of plastic: current scenario and future prospects for environmental safety". *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 25, No. 1, pp. 7287-7298.
- Arroyo, F. (2018). "La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo". *Innova Research Journal*, Vol. 3, No. 12, pp. 78-98.
- Arteaga, L.F., and Zavala, S. (2018). "Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de agave para su utilización en la industria alimentaria". *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol.3, pp. 678-691.
- ASTM. (2015). ASTM D5338-15: Standard test method for determination aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions, incorporating thermophilic temperatures.
- Cerdá, E., and Khalilova, A. (2016). "Economía circular". *Economía industrial*, No. 401, pp. 11-20.
- CIEL (Center for International Environmental Law). (2019). Plastic and health: the hidden costs of a plastic planet,

<https://www.ciel.org/plasticandhealth>, 28/07/20.

- East, P. (2016). Envases de plástico. Diseña para reciclar. RECOUP, Recycling of used plastics limited y ecoembes, <https://www.recoup.org/>, 15/08/20.
- Ecoplas, (2020a). ¿Qué son los plásticos biodegradables, biobasados, degradables, oxodegradables, compostables?, Plásticos y Medio Ambiente, <https://ecoplas.org.ar/2016/wp-content/uploads/2020/06/Publicacion-54-Plasticos-Biodegradables.pdf>, 20/04/21.
- Ecoplas (2020b). Reciclado avanzado de los plásticos. Reciclado por pirolisis, por disolución, biológico-enzimático y despolimerización. <https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2020/11/Boletin-57-Reciclado-Avanzado-de-los-Plasticos.pdf>, 20/04/21.
- Ecoplas. (2021). Los plásticos son parte la solución al desafío del calentamiento global y la crisis climática”. Plástico y medio ambiente, <https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2021/04/Publicacion-59-Calentamiento-Global-final.pdf>, 20/04/21.
- Ellen Macarthur Foundation. (2018). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada, https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf, 27/07/2020.
- Encalada, K., Aldás, M.B.; Erick, P., and Valle, V. (2018). “An overview of starch-based biopolymers and their biodegradability”. *Ciencia e Ingeniería*, Vol. 39, No. 3, pp. 2244-8780.
- Espaliat, M. (2017). Economía circular y sostenibilidad: Nuevos enfoques para la creación de valor. 1ª edición. CreateSpace Independent Publishing Platform, Estados Unidos.
- Garrison, T., Murawski, A., and Quirino, R. (2016). “Bio-based polymers with potential for biodegradability”. *Polymers*, Vol. 8, No. 262, pp 1-22
- Gómez, J. (2016). “Diagnóstico del impacto del plástico-botellas sobre el medio ambiente: Un estado del arte”, Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Colombia.
- Greenpeace. (2018). Un millón de acciones contra el plástico. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/TOOLKIT-PLASTICOS v3.pdf>, 05/08/20.
- Grigore, M. (2017). “Methods of recycling, properties and applications of recycled thermoplastic polymers”. *Recycling*, Vol. 2, No. 4, pp. 24.
- ISO. (2005). ISO 14855-1:2005: Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions -Method by analysis of evolved carbon dioxide-.
- Karmakar, G.P. (2020). “Regeneration and Recovery of plastic”, Reference Module in *Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, pp. 1-19.
- Kehinde, O., Ramonu, O.J., Babaremu, K.O., and Justin L.D. (2020). “Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria”, *Heliyon*, Vol. 6, e05131.
- Koketso, L., Uchenna, A., Nifise, E., Zulkifli, R., and Nongwe, I. (2021). “An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries”. *Recycling*, Vol 6, No. 12, pp. 1-25.
- Komal A., and Majeed, T. (2019). “Biodegradation of synthetic and natural plastics by microorganism: a mini review”. *Journal of Natural and Applied Sciences Pakistan*, Vol. 1, No. 2, pp. 180-184.
- Kubowicz, S., and Booth, A. (2017). “Biodegradability of plastics: challenges and misconceptions”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 51, pp. 12058-12060.
- Kumar, S., and Thakur K. (2017). “Bioplastic-classification, production and their potential food applications”, *Journal of Hill Agriculture*, Vol 8, No. 2, pp. 1128-129.
- Lamberti, F.M., Román, L.A., and Wood, J. (2020). “Recycling of bioplastic: routes and benefits”. *Journal of polymers and the environmental*, Vol. 25, pp. 2551-2571.
- Lopez, A.M., Maider J.B., and Martin O. (2017). “Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 73, pp.

- NYCE. (2019). NMX-E-273-NYCE-2019: Industria del plástico-Plásticos compostables-Especificaciones y métodos de prueba.
- Muhonja, C.N., Makonde, H., Magoma, G., and Imbuga, M. (2018). “Biodegradability of polyethylene by bacteria and fungi from Dandora dumpsite Nairobi-Kenia”. *PloS ONE*, Vol. 13, No. 7, pp 1-17.
- OCDE Environment Policy. (2018). Improving plastics management: trends, policy responses and the role of international co-operation and trade. Background report, https://read.oecd-ilibrary.org/environment/improving-plastics-management_c5f7c448-en#page1, 08/05/21.
- Ogundairo, T.O., Olukanni, D.O., Akinwumi, I.I., and Adegoke, D.D. (2021). “A review on plastic waste as sustainable resource in civil engineering applications”, IOP Co, Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1036, 012019, pp.1-14.
- Ojeda, J. P. (2019). Generación de residuos de plástico: la importancia de la prevención. Plataforma de información para políticas públicas de la Universidad Nacional de Cuyo. <http://www.politicaspublicas.uncu.edu.ar/articulos/index/generacion-de-residuos-de-plastico-la-importancia-de-la-prevencion>, 13-01-21.
- Panchal S. (2016). “Recent developments on biodegradable polymers and their future trends”, *Int. Res. J. of Science and Engineering*, Vol 4, No. 1, pp. 17-26.
- Portillo, F., Yashchuk, O., and Hermida, É. (2016). “Evaluation of the rate and biotic degradation of oxo-degradable polyethylene”. *Polymer Testing*, Vol. 53, pp. 58-69.
- Roosen, M., Mys, N., Kusenberg, M., Billen, P., Dumoulin A., Dewulf, J., Van K.M., Ragaert K., and De-Meester S. (2020). “Detail analysis of the composition of select plastic packaging waste products and its implications for mechanical and thermochemical recycling”, *Environ Sci Technol*, Vol. 54, pp. 13282-13293.
- Ru, J., Huo, Y., and Yang, Y. (2020). “Microbial degradation and valorization of plastic wastes”. *Front. Microbiol.* Vol. 11, No. 442, pp. 1-20.
- SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies). (2020). Biodegradability of plastics in the open environment. Berlin: SAPEA. <https://www.sapea.info/wp-content/uploads/bop-report.pdf>, 20-04-21
- Sabbah, M., and Porta, R. (2017). “Plastic pollution and the challenge of bioplastic”, *J Appl Biotechnol Bioeng.*, Vol 2, No. 2, p. 111.
- Sherwood, J. (2020). “Closed-loop recycling of polymers using solvents”. *Johnson Matthey Technol Rev*, Vol. 64, No. 1, pp. 4-15.
- Sidek, I.S., Syed, S.F., Sheikh, S.R., and Anuar, N. (2019). “Current development on bioplastic and its future prospects:an introductory review”, *iTech Mag*, Vol.1, pp. 03-08.
- Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., and Thakur, V. (2018). “Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges”, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Vol. 13, pp. 68-75.
- Urbanek, A., Rymowicz, W., and Mirończuk, A. (2018). “Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats”. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol.102, pp. 7669-7678.
- Velásquez S.M., Peláez G.J., y Giraldo, D.H. (2016). “Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos”, *Informador Técnico*, Vol. 80, No. 1, pp. 77-86.
- Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M. y Velasco, M. (2016). El reciclado de los plásticos. Universidad Autónoma Metropolitana. http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2016/10/0047_El_Reciclaje_de_los_Plasticos.pdf,08/10/20.
- Verdejo E., Pablo F., y Nora L. (2021). Reciclado químico de residuos plásticos: sumando hacia un reciclado total. <https://ide-e.com/reciclado-quimico-de-residuos-plasticos-sumando-hacia-un-reciclado-total/>, 05/05/21.

Zerowaste Europe. (2017). Join position paper. Bioplastic in a circular economy the need to focus on waste reduction and prevention to avoid false solutions. <https://zerowasteurope.eu/downloads/joint-position-paper-bioplastics-in-a-circular-economy-the-need-to-focus-on-waste-reduction-and-prevention-to-avoid-false-solutions/>, 20/04-21.