

Biodegradación: una alternativa eficiente para el tratamiento de residuos poliméricos

Yady Norella Arias Lopez (Universidad Francisco de Paula Santander) yadynorellaal@ufps.edu.co
Arley Andrés Gutierrez Florez (Universidad Francisco de Paula Santander) arleyandresgf@ufps.edu.co
Karen Stefanny Caballero González (Universidad Francisco de Paula Santander) karen_3833@outlook.com
Juan Diego Pineda Cifuentes (Universidad Francisco de Paula Santander) cifuentesjuandiegop@ufps.edu.co
John Wilmer Parra Llanos (Universidad Francisco de Paula Santander) johnwilmerpl@ufps.edu.co

Resumen:

El uso de polímeros a través de la historia ha permitido un avance tecnológico significativo y un sinfín de comodidades que todos aprovechamos cada día. Sin embargo, los polímeros sintéticos, como el plástico, son focos contaminantes que se sitúan en un escalafón muy alto entre las problemáticas que afectan la supervivencia de la humanidad en el planeta. Aun así, hoy las mentes humanas están moviéndose en búsqueda de alternativas de degradación de polímeros. En este trabajo se pretende dar a conocer algunos de los diferentes métodos de degradación de polímeros existentes, con un enfoque hacia los métodos que usan microorganismos, siendo esto de vital importancia debido al creciente uso de los mismos y con base a esto poder inferir cuál es el mejor bajo el preceptos que rige hoy al mundo.

Palabras clave: Biodegradación, Plásticos, Medio ambiente.

Biodegradation: an efficient alternative for the treatment of polymeric waste

Abstract

The use of polymers throughout history has allowed a significant technological advance and an endless number of comforts that we all take advantage of every day. However, synthetic polymers, such as plastic, are pollution hotspots that are at a very high level among the problems that affect the survival of humanity on the planet. Even so, today human minds are moving in search of alternative polymer degradation. The aim of this work is to show some of the different methods of degradation of existing polymers, with a focus on methods that use microorganisms, this being of vital importance due to the growing use of them and based on this to be able to infer which is the best under the precepts that govern the world today.

Key-words: Biodegradation, plastics, environment

1. Introducción

El planeta está pasando por un momento crítico, en donde la industria polimérica está causando grandes efectos en el medio ambiente, prueba de ellos es la situación actual de la crisis de la contaminación por plásticos. Se han fabricado unos 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción empezase sobre 1950, lo que equivale al peso de unos mil millones de elefantes o de 47 millones de ballenas azules (LUSHER, HOLLMAN & MENDOZA, 2017).

La mayoría de estos plásticos van a parar en los ríos y por último a los océanos, se estima que 12,7 millones de toneladas de plástico acaban en el océano cada año, en la Figura 1 se puede observar el mapa global con la cantidad de residuos plásticos generados por cada país durante el año 2010 (JAMBECK et al., 2015). Según Eriksen et al. (2014) hay cinco billones de fragmentos de plástico en nuestros océanos suficiente para rodear la Tierra más de 400 veces.

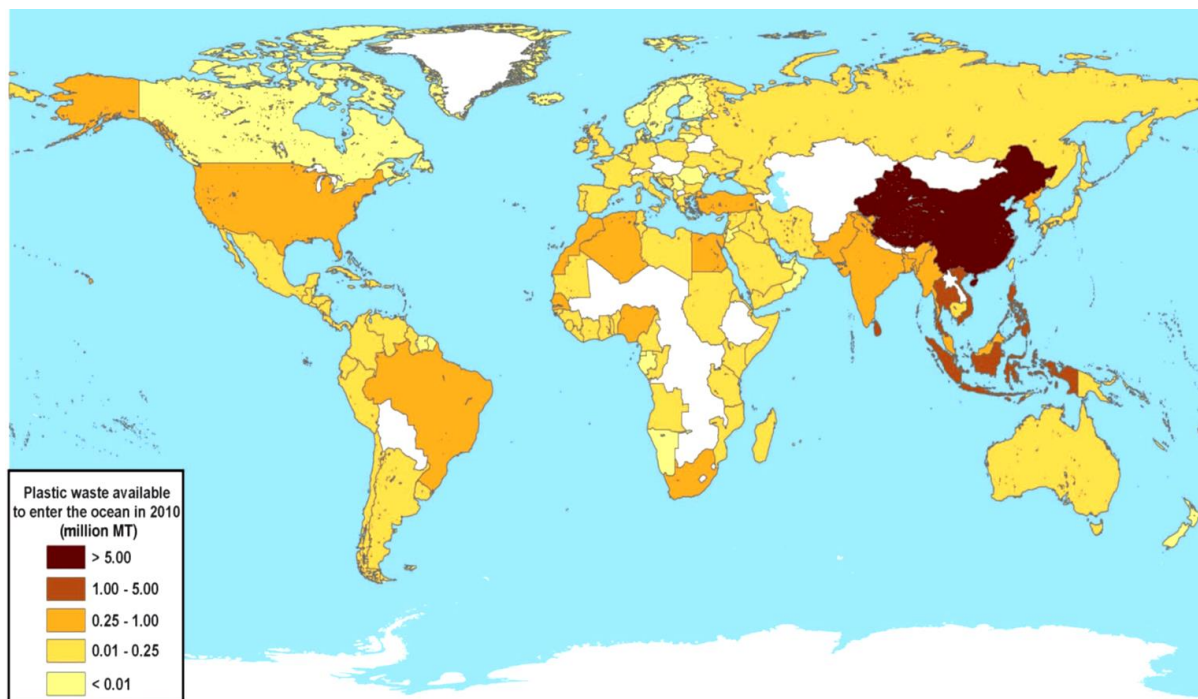


Figura 1 – Mapa global con la masa estimada [millones de toneladas métricas (MT)] de residuos plásticos generados en cada país en 2010. (ERIKSEN et al., 2014).

Los polímeros en la industria han logrado ganar terreno, tanto así que hoy día reemplazan materiales como la madera, los metales y el vidrio y son producidos en gran escala. Los polímeros juegan un papel fundamental en diversas áreas y han sido el objeto de investigación por muchos años desde su aplicación a nivel mundial, por ejemplo se conoce que son de suma importancia en el campo de la salud ya que gracias a estos ha sido posible la elaboración de objetos tales como marcapasos, corazones artificiales, catéteres, jeringas, bolsas para sangre, sondas y demás (HERMIDA, 2011). En el sector de la agricultura se conoce la utilización de plásticos en una técnica conocida como *plasticultura*, dicha técnica consiste en emplear los polímeros para la protección de las plantaciones tipo invernadero que limita las plántulas con el medio exterior y las protege de las adversidades del cambio climático. En la industria de alimentos los polímeros suelen ser mayormente utilizados en el envasado (CERRO, 2003) otros sectores conocidos por el uso de materiales poliméricos es el automotriz y de calzado donde se elaboran llantas y zapatos respectivamente. En 2016, la producción mundial de plástico alcanzó los 311 millones de toneladas métricas, 59 de los cuales se produjeron solo en Europa, otro de los grandes productores a nivel mundial es China, con alrededor de un cuarto de la producción global (STATISTA, 2016).

A pesar de los beneficios que ofrecen los materiales plásticos, también traen consigo desventajas como lo es la tardía degradación que experimentan estos en contacto con el medio ambiente debido a la composición química (compuesto por macromoléculas), el tamaño de estas macromoléculas impide la colonización del material por parte de microorganismos

capazes de degradar compuestos plástico a partículas más pequeñas mediante su metabolismo especializado, a esto se suma la cultura del no reciclaje por parte del hombre, lo que aumenta los niveles de contaminación por materiales poliméricos y así se afecta la biodiversidad de los ecosistemas (CARRANZA, DUFFO & FARINA, 2010). En los últimos veinticinco años se ha puesto de manifiesto la necesidad de estudiar y desarrollar materiales poliméricos que permitan su reutilización y reciclaje, volviendo a ser parte del ciclo económico (SILVANO et al., 2013). Actualmente se estudia la elaboración de polímeros biodegradables, los cuales se puedan desintegrar en periodos de tiempo muy cortos, es así que se ha logrado entonces producirse materiales biodegradables a partir de almidón, celulosa, quitosan (producto de la diacetilación de la quitina presente en el exoesqueleto de los crustáceos), PLA (ácido poliláctico) producto de la fermentación de azúcares y del maíz y por último los PHA's (Polihidroxialcanoatos) producidos mediante la fermentación de los azúcares y lípidos por parte de bacterias (AIMPLAS, 2011). El objetivo de esta revisión es exponer los tipos de degradación de polímeros que existen actualmente con un enfoque en los biológicos los cuales se visan como el más viable en cuanto a mitigación del impacto ambiental generado por cualquier tipo de material de origen polimérico.

2. Tipos de métodos de degradación de polímeros

Por degradación de un polímero se entiende aquel cambio en su estructura química que conlleve una modificación apreciable de sus propiedades (ARADILLA, OLIVER & ESTRANY, 2012)

2.1. Degradación por métodos químicos

La degradación de tipo química se clasifica en los siguientes grupos: hidrólisis, oxidación, foto degradación y Termo descomposición

2.1.1. Hidrolisis

La causa de la degradación es el contacto del material con un medio acuoso, para su desarrollo es necesaria la presencia de agua y que el medio sea ácido (hidrólisis ácida) o básico (hidrólisis básica) (ARADILLA, OLIVER & ESTRANY, 2012). Por tanto, para que este tipo de degradación polimérica tenga lugar, es necesario que en la cadena principal del polímero o en sus ramificaciones existan grupos hidrolizables; tal es el caso de poliésteres, poliamidas y PVAc. En este último, los grupos hidrolizables están en las cadenas laterales o ramificaciones. Hay que señalar, que este tipo de proceso no es significativo a temperatura ambiente y pH neutro (CERRO, 2003). El ácido poliláctico (PLA) siendo un polímero obtenido del almidón, presenta una degradación primero a través de hidrólisis en los enlaces que posee el polímero y posteriormente la biodegradación mediante enzimas (NAIR, SEKHAR & NAMPOOTHIRI, 2016).

2.1.2. Oxidación

Básicamente se coloca el material plástico en una estufa a temperatura constante, entre 60 y 100°C dependiendo del tipo de polímero, con circulación de aire y se evalúa a intervalos constantes sus propiedades mecánicas (elongación, rotura, etc) peso molecular, tiempo de fragilización y visualmente. A este ensayo también se le denomina envejecimiento térmico. El material plástico sufre un proceso de degradación con pérdida de las propiedades y desintegración en un período variable de semanas a meses (PLASTIVIDA, 2009).

2.1.3. Fotodegradación

Este tipo de degradación incluye los cambios físicos y químicos que se producen en el polímero debido a la irradiación del material con luz ultravioleta o visible (ARADILLA, OLIVER &

ESTRANY, 2012). La mayoría de los polímeros comerciales experimentan reacciones químicas cuando se irradian con luz ultravioleta (UV), porque poseen constituyentes o impurezas capaces de absorberla. Este hecho es fundamental porque la luz solar que llega a la tierra tiene en su espectro una porción que incluye la región UV. Por eso cuando los polímeros orgánicos se exponen a la intemperie experimentan fotorreacciones que, en general son dañinas pues los hacen frágiles y se decoloran (POSADA, 2012).

2.1.4 Termodescomposición

Las reacciones de termodescomposición o degradación térmica se pueden producir en ausencia de oxígeno (pirólisis) o en presencia de éste (termo-oxidación). La tendencia de los polímeros a experimentar reacciones de tipo pirolítico tiene relación con las energías de enlace asociadas a su composición química y para que ocurran es necesario alcanzar niveles de temperatura relativamente elevados (SAN ANDRES et al., 2010). El calor conlleva a la ruptura hemolítica de los enlaces covalentes de la cadena o de los grupos laterales, provocada por el aumento de la temperatura. Tras la ruptura del enlace, las reacciones que se dan dependen de la actividad de cada radical (como es obvio, a más temperatura, mayor es la degradación). También influye la viscosidad del fundido, pues los esfuerzos de cizalla locales pueden aumentar la temperatura de la masa. Muchas degradaciones térmicas son autocatalíticas, por lo que el polímero se degrada más rápido si ya está parcialmente degradado (BLANCO, 2007).

2.2 Degradación por métodos físicos

A pesar de sus múltiples propiedades los polímeros logran descomponerse a temperaturas superiores a los 200°C y se funden o hinchán en fluidos orgánicos calientes. Dentro de los agentes que logran causar degradación en polímeros se encuentran aquellos que son de naturaleza física como las cargas, el calor y la luz (POSADA, 2012).

2.2.1 Degradación térmica

Como se conoce los polímeros suelen permanecer estables a temperaturas entre los 100 y 200°C, cuando se excede la máxima temperatura los materiales se descomponen y sus moléculas se desintegran en fragmentos pequeños como radicales libres, iones libres, H₂, CO, entre otros. Dicho suceso ocurre debido a que las uniones de las moléculas del material son covalentes y ofrecen una resistencia limitada que se rompe al aplicar calor. Se conocen de dos mecanismos que influyen en la estabilidad térmica de los polímeros, uno de ellos es un proceso reversible y consiste en aplicar cierta temperatura al polímero hasta lograr su ablandamiento, opuesto al mecanismo que consiste en la aplicación de la temperatura en determinado tiempo que también estaría afectado por la atmosfera circundante, este proceso ofrece una descomposición de tipo irreversible en el material, la degradación térmica ocurre cuando el polímero a temperaturas elevadas experimenta cambios químicos en su estructura pero es un proceso en el que no intervienen sustancias químicas (POSADA, 2012).

2.2.2 Degradación por radiación

Algunos tipos de radiación como los haces de electrones, rayos X, rayos beta, rayos gamma y los rayos ultravioleta poseen la energía suficiente para lograr penetrar el material polimérico e interactuar con los átomos o electrones de la molécula causando el rompimiento de los enlaces que conforman la cadena del polímero repercutiendo entonces en la estructura original del material, cambiando sus características mecánicas y variando su comportamiento frente a los agentes químicos, el efecto de la radiación incide en el material mayormente cuando menor es la longitud de onda porque mayor sería la fuerza o energía de los fotones de luz, también depende de la frecuencia de absorción existente entre los enlaces covalentes de la molécula del

polímero. La fotodegradación de los polímeros es mayormente llevada a cabo por radiaciones ultravioletas, sin embargo el efecto de la luz visible sobre el material polimérico potencializa el efecto de oxidación, la acción hidrolizante de las lluvias acidas e incrementa la actividad microbiana sobre el polímero (OTERO, 2001).

2.2.3 Degradación mecánica

Este tipo de degradación tiene que ver con los efectos macroscópicos que lleven al agrietamiento y la deformación del material producido por el influjo de fuerzas y los cambios químicos por el esfuerzo mecánico, en los polímeros la fabricación y los proceso de modificación de estos materiales imponen tensiones y deformaciones también impuestas por las fuerzas de tracción o cizalladura sobre el polímero, en todos estos casos los enlaces químicos de las cadenas del polímero se pueden romper (POSADA, 2012). Un ejemplo típico es la masticación del latex de caucho natural para reducir el peso molecular a 500.000 para permitir posteriormente la correcta vulcanización (PROLONGO, 1997).

2.3 Degradación por métodos biológicos (Biodegradación del plástico)

Es la transformación bioquímica de los compuestos por la acción de microorganismos. La biodegradación de un compuesto ocurre debido a la actividad de varias enzimas, que son producidas por los microorganismos (LIMON, 2001).

Existen organismos unicelulares como hongos y bacterias capaces de metabolizar los polímeros y degradarlos a compuesto mucho más simples y de menor impacto en materia de contaminación del medio ambiente, esto gracias a la síntesis de enzimas intra y extracelulares que les permiten la asimilación metabólica de este tipo de materiales. Estudios realizados con hongos ligninolíticos han determinado que estos microorganismos producen enzimas extracelulares con una intensa actividad oxidante que permite degradar compuestos orgánicos con estructuras similares a las de la lignina, dichos estudios demostraron que es posible la degradación de un compuesto de desecho como lo es la resina fenólica a partir de hongos tales como: *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium* y *Sporotrichum pulverulentum* (PONCE et al., 2012).

En el trabajo realizado por Méndez et al. (2007) se evidencia la acción de algunos géneros de hongos respecto a la degradación del polietileno los cuales fueron aislados de materiales poliméricos de un relleno sanitario en Perú, dichos micromicetos pertenecían a los géneros: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Helminthosporium*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Hormodendrus*, *Cephalosporium* y *Nigrospora*. Posterior al aislamiento se llevaron al laboratorio donde se obtuvo cultivos puros de ellos y fueron sometidos al contacto con diferentes tipos de plásticos como bolsas de basura y botellas algunos de ellos polietilenos de alta densidad (HDPE) y otros de una densidad baja (LDPE) a unas temperaturas entre 20 y 30° y a un pH entre 4.5 y 8.0, en estos se evidencia la degradación en gran parte de las muestras y se resalta la acción del hongo *Aspergillus Flavus* como potencial degradador del polietileno.

Aunque los hongos son más efectivos en la degradación de los polímeros y son los más comúnmente utilizados para ello, también existen diferentes tipos de bacterias que resultan tener un nivel de metabolización aceptable para con los plásticos. Tal es el caso de la bacteria *Streptomyces coelicolor* empleada en la degradación de un biopolímero producto de la mezcla entre espuma de almidón y goma natural así mismo se reconoce la acción del microorganismo en productos como guantes de goma donde al realizarse una microscopia de barrido permite apreciar el rompimiento de algunas partes del guante y también aprecia la colonización de S.

coleclicolor, para todos ellos la bacteria logra producir enzimas específicas que permiten la degradación de los polímeros a los que fue sometida (WATCHARAKUL et al., 2012).

Recientemente en marzo del 2018 se publicó la noticia de que en la Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM), Elva Quiroz Rocha mediante investigaciones realizadas logra identificar el sistema que permite la modificación genética de la bacteria *Azobacter Vinelandii* para aumentar el potencial de la cepa en la producción de alginato, dicho microorganismo tiene una alta capacidad de degradar los polímeros pero también tiene el potencial de producir biopolímeros de alta pureza y de poco impacto para el medio ambiente por ser de procedencia biológica, esto con el objetivo de reducir la utilización de los plásticos procedentes de fuentes pétreas y que a su vez el microorganismo logre producir en grandes cantidades el alginato y el PHB así mismo se tiene la ventaja de que estos polímeros se degraden en un tiempo estimado entre tres y seis meses debido a que la bacteria es capaz de utilizar los productos plásticos como fuente de carbono, por último se recalca la importancia que tiene la producción de un biopolímero de alta pureza ya que reuniendo estas condiciones pueden ser empleados en la parte medica como prótesis y capsulas en el transporte a nivel celular de sustancias para tratar diversas enfermedades como el cáncer ya que al estar encapsulado el medicamento solo atacaría la parte afectada por la enfermedad (TECNOLOGIA DEL PLASTICO, 2018).

El interés por la solución de las problemáticas ambientales vividas a raíz de la producción de plásticos a gran escala ha llevado a que día a día más personas busquen dar una solución a la misma, tal es el caso de un grupo de investigadores los cuales lograron la producción de una enzima modificada con mayor capacidad de degradación que las producidas naturalmente teniéndose como base de estudio la recién descubierta enzima PETasa que es capaz de degradar los plásticos tipo PET, dichos estudios se realizaron en gran parte con una tecnología altamente avanzada utilizando microscopios de alta capacidad que incluso puede llegar a apreciar los átomos individuales, lo que les permitió apreciar la estructura de la enzima PETasa producida de forma natural y diseñarse una nueva estructura enzimática con mayor potencial de degradación conocida como poliesterasa aromática (AUSTIN et al., 2018).

Otra opción en mira a la producción de plásticos biodegradables es mezcla de compuestos orgánicos como el almidón con diferentes tipos de polímeros que en condiciones normales tardan muchos años en degradarse pero que al realizarse el proceso de aleación se ve reflejado en una disminución notoria de los años en los que se descomponen los nuevos polímeros tal es el caso de una investigación realizada en la Universidad Federal de Rio de Janeiro en Brasil donde se emplearon una mezcla de almidón anfótero con biopolímeros como poli(β -hidroxibutirato) PHB y su copolímero que es el poli(β -hidroxibutirato-co-valerato)PHB-HV ambos productos de la fermentación bacteriana que a su vez es un proceso no muy rentable en términos económicos pero que dichos productos pueden llegar a ser degradados en un máximo de diez años en comparación con otros petroquímicos que demoran cientos de años en su desintegración y que a su vez acarrear problemáticas en los ecosistemas vivos y que al ser aleados con almidón se reduce en cierto modo el costo de los procesos industriales para la obtención del polímero, las mezclas fueron sometidas a procesos de degradación empleando cepas de hongos tales como la especie *Phanerochaete Chrysosporium* y la cepa salvaje de la especie *Talaromyces wortmannii*, el potencial de biodegradación de los microorganismos frente a los polímeros fue medida mediante la prueba de Sturm el cual mide el CO₂ producido durante el ensayo de degradación y otras pruebas como la variación de la masa, espectroscopia infrarroja, la difracción de rayos x, un ensayo mecánico y la prueba de microscopia electrónica de barrido donde se obtuvo un resultado viable en cada una de las pruebas efectuadas ya que

los microorganismos se encontraban en ambientes propicios para su desarrollo y nutrición y se encontró que el incorporar el almidón al polímero este último redujo su resistencia en un 18 % en resistencia a la tracción y también se redujo el porcentaje de estiramiento del polímero (COELHO, ALMEIDA & VINHAS, 2008).

Recientemente investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México lograron patentar un proyecto que se llevó a cabo en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de esa universidad y que lleva como título “Cutinasas recombinantes de *Aspergillus nidulans* para degradación de poliésteres” cuya finalidad fue la creación de un tipo de enzima recombinante en el que se comprende el aislamiento de los genes del hongo *Aspergillus nidulans* para posteriormente introducirlos en la levadura *Pichia pastoris* la cual es muy empleada como sistema de expresión para la creación de proteínas recombinantes, este es un método viable para la degradación de plásticos que generalmente tardan 500 años en degradarse ya que al emplear esta enzima se reduce el tiempo de degradación del polímero a solo 15 días (GONZALES et al., 2016).

3. Conclusiones

Los materiales poliméricos a pesar de ser necesarios porque brindan un servicio a los habitantes del planeta ya que son empleados en diversas actividades cotidianas, como los plásticos que son usados para la fabricación de envases y demás, también son foco de contaminación ambiental en un amplio espectro atentando contra la biodiversidad de los ecosistemas marítimos y terrestres, por ello es importante la realización de investigaciones encaminadas en la solución de dicha problemática, el método de biodegradación se muestra como el más viable en comparación con los demás porque es el que menor impacto genera al ambiente ya que se emplean microorganismos que son propios de la naturaleza y por ello son incapaces de alterar los ecosistemas.

Los biopolímeros también se muestran como una alternativa favorable en la mitigación del impacto ambiental ocasionado por los polímeros, ya que son productos naturales que no presentan gran resistencia a la degradación por parte de los microorganismos, siendo entonces, productos que no perdurarán por años en el ambiente y no lo afectarán de manera significativa.

Referencias

- ABDEL-AAL, R.E.; AL-GARNI, Z. *Forecasting Monthly Electric Energy Consumption in eastern Saudi Arabia using Univariate Time-Series Analysis*. Energy Vol. 22, n.11, p.1059-1069, 1997.
- ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. *Statistical Methods for Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- AIMPLAS. *BIOPOLIMEROS. Procesabilidad y Casos de estudio*. Instituto tecnológico del plástico. 2011
- ARADILLA, D.; OLIVER, R.; ESTRANY, F. *Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente*. Revista Técnica industrial. Número 297, p. 76-80, 2012.
- AUSTIN, H.; ALLEN, M.; DONOHOE, B.; RORRER, N.; KEARNS, F.; SILVEIRA, R.; POLLARD, B.; DOMINICK, G.; DUMAN, R.; OMARI, K.; MYKHAYLYK, V.; WAGNER, A.; MICHENER, W.; AMORE, A.; SKAF, M.; CROWLEY, M.; THORNE, A.; JOHNSON, C.; WOODCOCK, H.; MCGEEHAN, J.; BECKHAM, G. *Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018. Disponible en: << <http://www.pnas.org/content/pnas/early/2018/04/16/1718804115.full.pdf>>>. Accesado el 15/06/2018.
- BLANCO, R. *Generalidades sobre los polímeros*. Anexo B. Introducción a los Polímeros, 2007. Disponible en: << <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4536/Anexo%20%20B.pdf?sequence=3>>>. Accesado el 20/05/2018.
- CARRANZA, R.; DUFFO, G.; FARINA, S. *Nada es para siempre: Química de la degradación*. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires, Argentina, 2010.

- CERRO, A.** *Resíduos: alternativas de gestión.* Jornadas Ambientales, Edición 8, Vol. 1, 159-174, 2003.
- COELHO, N.; ALMEIDA, Y.; VINHAS, G.** *A biodegradabilidade da blenda de poli (β -Hidroxibutirato-co-Valerato)/amido anfótero na presença de microrganismos.* Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol. 18, n 3, p. 270-276, 2008.
- ERIKSEN, M.; LEBRETON, L.; CARSON, H.; THIEL, M.; MOORE, C.; BORERRO, J.; GALGANI, F.; RYAN, P.; REISSER, J.** *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea.* PLOS ONE, Vol 9, n. 12, art. p. 1-15, 2014.
- GONZALES, A.; MONTES, C.; DOMINGUEZ, E.; GARCÍA, S.; SANCHEZ, M.; BÁEZ, I.** *Cutinasas recombinantes de aspergillus nidulans para biodegradación de poliésteres.* Patente, WO2017204615A2, Mexico, 2016.
- HERMIDA, É.** *Polímeros. Guía Didáctica.* Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires, Argentina, 2011.
- JAMBECK, J.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, R.** *Plastic waste inputs from land into the ocean.* Science. Vol. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.
- LIMON, M.** *Biodegradación de polietileno de baja densidad por hongos filamentosos.* Disertación (Maestría en Biotecnología) Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México, 2001.
- LUSHER, A.; HOLLMAN, P.; MENDOZA, H.** *Microplastics in fisheries and aquaculture.* Food and agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2017.
- MÉNDEZ, C.; VERGARAY, G.; BÉJAR, W.; CÁRDENAS, K.** *Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno.* Revista peruana de biología. Vol. 13, n. 3, p. 203 – 205, 2006.
- NAIR, N.; SEKHAR, V.; NAMPOOTHIRI, K.** *Augmentation of a Microbial Consortium for Enhanced Polylactide (PLA) Degradation.* Indian J Microbiol. Vol. 56, n. 1, p. 59-63, 2016.
- OTERO, H.** *Corrosión y degradación de materiales.* Editorial Síntesis, Segunda edición, Madrid, España, p. 382, 2001.
- PLASTIVIDA.** *Degradación de los materiales plásticos.* Boletín Técnico Informativo N°21. Argentina, 2009. Disponible en: << <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>>>. Accesado el 15/06/2018.
- PONCE, G.; VÁZQUEZ, R.; RODRÍGUEZ, R.; MEDINA, I.; LOZANO, J.** *Evidencia de la biodegradación de resinas fenólicas con hongos ligninolíticos por microscopia electrónica de barrido.* Rev. Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 28, n. 2, p. 159-166, 2012.
- POSADA, B.** *La Degradación de los Plásticos.* Revista Universidad EAFIT Vol. 30, n. 94, p. 67-86, 2012.
- PROLONGO, M.** *Propiedades Químicas y Físicas de Polímeros.* Capítulo en libro: Elementos estructurales con materiales poliméricos. Universidade da Coruña, p. 66-95, 1996.
- SAN ANDRÉS, M.; CHÉRCOLES, R.; DE LA ROJA, J.; GÓMEZ, M.** *Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en conservación; primeros resultados.* Proceedings XI Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo (GEIIC), Madrid, p. 331-338, 2010.
- SILVANO, J.; RODRIGUES, S.; MARINI, J.; BRETAS, R.; CANEVAROLO, S.; CARVALHO, B.; RAMOS, M.** *Introducción a los polímeros: Generalidades sobre los polímeros.* 2007. Disponible en: << <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4536/Anexo%20%20B.pdf?sequence=3>>>. Accesado el 20/06/2018.
- PINHEIRO, L.** *Effect of reprocessing and clay concentration on the degradation of polypropylene/montmorillonite nanocomposites during twin screw extrusion.* Polymer Degradation and Stability. Vol. 98, n. 3, p. 801-808, 2013.
- STATISTA.** *Distribución de la producción de materiales plásticos a nivel mundial en 2016, por región [Base de datos en línea].* 2016. Disponible en: << <https://es.statista.com/estadisticas/636104/porcentaje-de-la-produccion-global-de-materiales-plasticos-por-region/>>>. Accesado el 10/05/2018.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

TECNOLOGIA DEL PLASTICO. *Descubren bacteria que produce y degrada plástico.* 2018. Disponible en: << <http://www.plastico.com/temas/Descubren-bacteria-que-produce-y-degrada-plastico+124552>>>. Accesado el 12/06/2018.

WATCHARAKUL, J.; UMSAKUL, K.; HODGSON, B.; CHUMEKA, W.; TANRATTANAKUL, V. Biodegradation of a blended starch/natural rubber foam biopolymer and rubber gloves by *Streptomyces coelicolor* CH13. *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 15, n.1, p. 1-13, 2012.