



Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión

Polymeric materials and environmental impact: a review

Materiais poliméricos e impacto ambiental: Uma revisão

Cintha Carolina Zambrano-Sánchez^I
czambrano1961@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3745-7683>

Gisela Beatriz Latorre Castro^{II}
gisela.latorre@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0376-8843>

Bladimir Jacinto Carrillo-Anchundia^{III}
bladimir.carrillo@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9948-728X>

Correspondencia: czambrano1961@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

* **Recibido:** 26 de abril de 2022 * **Aceptado:** 15 de mayo de 2022 * **Publicado:** 7 de junio de 2022

- I. Estudiante, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Ingeniera Química Mgs., Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Químico Mgs., Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

La contaminación del ambiente se incrementa con el pasar de los años produciendo impactos significativos para el ser humano, es por eso que se ha dado una gran importancia al medio ambiente y su conservación, buscando que las acciones realizadas por el hombre no deterioren los recursos como el agua, suelo y aire. Los plásticos son materiales poliméricos compuestos por moléculas orgánicas, su uso está deteriorando y alterando los ecosistemas, se ha destacado en los últimos años que los plásticos más utilizados son los envases de tereftalato de polietileno (PET), proveniente de botellas descartables de agua, aceites y bebidas, lo que implica una contaminación aún mayor. Es por ello que se considera efectuar esta revisión bibliográfica en base a investigaciones llevadas a cabo sobre materiales poliméricos y su impacto ambiental. Se analizó información relevante, en función al comportamiento de éstos frente al calor, dividiéndolos en termoplásticos y termoestables, siendo los termoplásticos los de mayor generación y consumo, como el PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, en cuanto a degradación del PET, el método más viable y eficiente es la glicólisis, debido a que optimiza recursos sin necesidad de altas tecnologías. En función a la Regulación se debe acotar que en el país está vigente la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso, reemplazado por envases y productos fabricados con material reciclado o biodegradable, y la implementación de campañas para la recolección de botellas PET.

Palabras claves: materiales poliméricos; contaminación; PET.

Abstract

Every year the pollution increase and this result cause a bad impact on the world especially for the human, indeed that it is a real reason for giving the important mining about the environment, searching the actions performed by the man do not deteriorate resources such as water, earth, and air. Plastics are polymeric materials composed of organic molecules and their use causes deterioration and changes all the ecosystems, it has been highlighted in recent years that plastic is most used in polyethylene terephthalate containers, which come from disposable bottles of water, oil, and beverages, which implies greater contamination, that reason people know the important use polymeric materials against heat, dividing thermoplastic and thermosetting, some of which are more popular, such as PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS.

In another hand regarding PET degradation, the most practicable and efficient method is glycolysis, because it is the best resource without the need for high technologies. Therefore, based on the regulation it is important to note that the Organic law for rationalization of reuse and reduction of plastics and replaced by containers and products made of recycled or biodegradable material and encourage people the collection of PET bottles.

Keywords: polymeric materials; contamination; PET

Resumo

A contaminação do meio ambiente aumenta com o passar dos anos produzindo impactos significativos para o ser humano, por isso tem sido dada grande importância ao meio ambiente e sua conservação, visando que as ações realizadas pelo homem não deteriore os recursos como a água, o solo e o ar. Os plásticos são materiais poliméricos compostos por moléculas orgânicas, seu uso vem se deteriorando e alterando os ecossistemas, destaca-se nos últimos anos que os plásticos mais utilizados são as embalagens de polietileno tereftalato (PET), provenientes de garrafas descartáveis de água, óleos e bebidas, o que implica ainda maior contaminação. É por isso que se considera realizar esta revisão bibliográfica com base em pesquisas realizadas sobre materiais poliméricos e seu impacto ambiental. Foram analisadas informações relevantes, com base em seu comportamento frente ao calor, dividindo-os em termoplásticos e termoestáveis, sendo os termoplásticos os de maior geração e consumo, como PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, em termos de degradação de o PET, o método mais viável e eficiente é a glicólise, pois otimiza recursos sem a necessidade de altas tecnologias. Com base no Regulamento, refira-se que vigora no país a Lei Orgânica de Racionalização, Reutilização e Redução de Plásticos de Uso Único, substituída por embalagens e produtos feitos com material reciclado ou biodegradável, e a implementação de campanhas de a coleta de garrafas PET.

Palavras-chave: materiais poliméricos; poluição; BICHO DE ESTIMAÇÃO.

Introducción

El impacto ambiental del hombre hacia el ambiente está siendo calificado como negativo. En la actualidad se viven los efectos causados por las malas prácticas ambientales, es así que, “La contaminación ambiental de todo tipo causa daños nocivos a la salud humana, provocados de

manera principal por la emisión de monóxido de carbono, plomo, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, benceno, humo de motores diésel” (Estrada et al., 2016, p.86). Consecuentemente, se trata de contaminación de diversas fuentes, como los automóviles, la producción industrial y otras.

En efecto, el problema de contaminación ambiental es desde hace tiempo una situación muy preocupante, por lo que ahora se estudian cada vez más, métodos y formas de reducirla, y así es que Severiche et al., (2016) mencionan que “El problema ambiental no es un asunto menor; en el pasado se limitaba al análisis de efectos por contaminación del agua, suelo y aire, sin embargo, la complejidad aumentó en la medida en que se fueron conociendo causas y efectos” (p.268).

Investigación efectuada en Madrid por Labeaga (2018), sobre polímeros biodegradables, expone que la mayoría de los polímeros derivados del petróleo son muy contaminantes y tardan muchos años en desaparecer, por lo que es fundamental promover investigaciones respecto de estos polímeros, pues son una alternativa limpia y eficaz para sustituir los polímeros tradicionales. Así también Bernal (2018) efectuó una investigación y expone que para poder cerrar el círculo del desarrollo sostenible de materiales poliméricos es imprescindible abordar la gestión de residuos, la cual es una pieza clave en la economía circular y sostenible para poder recuperar el valor material y energético de los materiales. Asimismo, en Perú, Elgegren et al., (2012), presentaron un estudio del reciclaje químico de plásticos, manifestando que con mayor frecuencia se encontró como desechos domésticos al PET. En el Ecuador el 21 de diciembre de 2020 entró en vigencia y está en el Registro Oficial la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso.

El interés de esta revisión se enmarca en el impacto ambiental producido por el aumento en la producción y uso de materiales poliméricos que están dejando secuelas negativas en los ecosistemas, de manera particular, en los terrestres y acuáticos, afectando a las especies que en ellos habitan.

Metodología

El presente artículo de revisión es de carácter descriptivo cuali-cuantitativo. El estudio investigativo es importante realizarlo porque se consolida un documento con referentes bibliográficos obtenidos mediante revisión de la literatura de contenidos teóricos relacionados con el tema propuesto. Se revisan como referentes libros, revista científica, tesis, documentos legales, entre otros. La investigación se efectúa para aportar en el mejoramiento del nivel de conocimiento

sobre el proceso de elaboración de los materiales poliméricos y el impacto que generan en el ambiente, así como también analizar y examinar los procesos de degradación química del PET establecidos a partir del análisis documental de información digital, mediante la utilización de instrumentos tales como fichas de investigación.

Resultados y Discusión

Un polímero se lo conoce como la combinación de uno o mas moléculas. Labeaga (2018) manifiesta que “Un polímero puede definirse como una macromolécula que se forma por la unión de moléculas más pequeñas, llamadas monómeros, a través de enlaces covalentes” (p.6). De la misma forma, Luna (2021) puntualiza que los polímeros son una familia de materiales muy diversos entre sí, es así que, a lo largo de la historia estos se han utilizado en la industria textil, en la fabricación de recubrimientos como el teflón, en la industria electrónica como semiconductores y en la creación de emisores de luz.

Los plásticos son materiales poliméricos derivados de recursos no renovables, provenientes del petróleo, el consumo de estos se ha extendido a nivel mundial y por no ser biodegradables han generado serios problemas ecológicos (Burdisso et al., 2015). Por otro lado, Cepeda et al. (2018) mencionan que la gran cantidad de materiales poliméricos que se producen, colocan en riesgo al medio ambiente, y la mejor alternativa es la disminución de estos desechos con el reuso.

Además los materiales poliméricos brindan una respuesta dual, elástica y viscosa presentando una deformación, según investigaciones por Balart et al. (2017) sostienen que “Los materiales poliméricos poseen un comportamiento dual, viscoelásticos. Por un lado, ofrecen una respuesta elástica, inmediata y no dependiente de la variable tiempo y, por otro lado, presentan una respuesta viscosa típica de un fluido viscoso”. (p.139). Asimismo, menciona Cepeda et al. (2018) que los materiales poliméricos son de gran impacto hacia la humanidad, donde se han dado la explotación de muchos recursos naturales ya sea animal y vegetal.

Así pues, estos materiales poliméricos han estado en estudios para mejorar el problema ambiental donde es imposible que se retire del todo ya que es la base de ciertas industrias y es así que Castañeda et al. (2019) señala que “El excesivo uso que le hemos dado y la problemática ambientalista que ha traído los plásticos son la base de numerosas aplicaciones, lo cual se hace imposible retirar por completo su uso, prueba de ello son las investigaciones al mejoramiento” (p.9). De tal manera Posada y Montes (2021) agregan que la alta producción y demanda de los

productos poliméricos, generan una gran cantidad de desechos dando problema por controlar los plásticos de un solo uso.

La gran diversidad de estos materiales se puede clasificar de muchas maneras tales como se muestra en la tabla 1, donde se observa la clasificación de los polímeros.

Tabla 1. Clasificación de los polímeros.

Clasificación	Tipos de material Poliméricos	Descripción
Según estructura	Amorfos	No poseen orden en su estructura
	Semicristalino	Poseen regiones con un ordenamiento periódico
Según la estructura química	Homopolímeros	Formados por una sola clase de monómero
	Copolímeros	En la estructura están presentes distintos tipos de monómeros
Según el comportamiento frente al calor	Termoplásticos	Es el grupo de polímeros que tras aplicárseles calor y fundirse o ablandarse, son capaces de volver a recuperar sus propiedades originales como son el polietileno, polipropileno, PVC o las poliamidas
	Termoestables	Estructura entrecruzada, formando una red a base de uniones covalentes.

Fuente: (Labeaga, 2018)

La categoría principal de los plásticos de un solo uso según el comportamiento frente al calor es la de termoplásticos, este grupo posee la característica de poder derretirse al calentarse y endurecer al enfriarse, lo cual es reversible (ONU, 2018). La ASTM Internacional es una de las organizaciones más grandes del mundo que propone siete categorías para clasificar los plásticos termoplásticos tales como el Tereftalato de polietileno (PET) su uso destaca en envases de bebidas gaseosas, jugos, aceites, mayonesa, salsas, cosméticos, películas radiográficas, envases al vacío, cintas de video y audio; Polietileno de alta densidad (HDPE) se utiliza en envases de leche, detergentes, champús; Policloruro de vinilo (PVC) empleado en la fabricación de tuberías de agua, desagües, mangueras, cables; Polietileno de baja densidad (LDPE) es el plástico de bolsas para basura; Polipropileno (PP) en envases de alimentos, materiales para la industria automotriz;

Poliestireno (PS) este plástico se emplea en envases de alimentos congelados, juguetes, y entre otros (Bolaños, 2019).

El uso de plásticos ahora está muy extendido, este es empleado en la fabricación y envasado de variedades de productos por su facilidad y ser económico al elaborarlo, es muy versátil por su flexibilidad, durabilidad y ligereza, además el tiempo de degradación varía en función del tipo de plástico y de las condiciones ambientales que se encuentre tales como luz solar, agentes mecánicos, y oxígeno (Aleza, 2020). Sin embargo, la alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar (Valero et al., 2013). En realidad, los beneficios ambientales y sociales del uso de los plásticos deben enfrentarse en los problemas de durabilidad (Rodríguez y Orrego, 2016).

El tereftalato de polietileno (PET) es uno de los más usados en la actualidad, principalmente en la industria del embotellado de bebidas carbonatadas y de agua, este tiene un buen balance en la impermeabilidad a gases tales como el dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, así como a su alta resistencia química y mecánica (Zamudio y Cuervo, 2013). Por ello el reciclaje de este tipo de materiales está sujeto a características tales como el método, la calidad del PET, y la cantidad de reciclar, donde es importante de contar con un sistema de recolección eficiente y de mejora continua para este tipo de polímero (Olivera, 2016). En tal sentido las botellas de PET son todo un desarrollo ingenieril, estas cuentan con diseños ergonómicos, con sus debidas características siendo acreditado como uno de los mas importantes y asi mismo perjudicial para el medio ambiente (Juaréz y Vera, 2011).

Además, la elaboración del PET trae consigo contaminación en su proceso, el cual comienza desde la extracción hasta la producción de ciertos materiales elaborados por este polímero, es así que Suasnavas (2017) expone que “La elaboración del PET produce alta contaminación, debido a que es un material que se fabrica a partir de productos químicos derivados del petróleo” (p.55).

El PET cuyo material polimérico es reciclado básicamente por un método mecánico, químico o combinación de estas, siendo el más empleado el mecánico, pero para obtener mayor calidad y mejores propiedades es recomendado utilizar el reciclado químico (Aleza, 2020). Este reciclaje nace en las industrias petroquímicas que buscan una producción más eficiente a costos accesibles para realizar este método (Guapisaca y Pintado, 2019). Es así que el reciclado químico es un proceso donde ocurre la descomposición del polímero para obtener monómeros (Bolaños, 2019)

La reducción del plástico es responsabilidad de la industria petroquímica que es la fabricante, de la industria transformadora ya que esta se encargan de fabricar los diferentes productos finales del plástico, y de quien diseña el envase (Hachi y Rodriguez, 2010). Asimismo, la industria química ha hecho un gran avance en las últimas décadas en la calidad de vida de toda la humanidad con procesos innovadores en diversos sectores de la industria, esta sigue en investigaciones para así plantear nuevos retos para la sostenibilidad del planeta y la salud, así como ambiental y para los seres vivos (Aleza, 2020).

Impacto ambiental de los materiales poliméricos.

El ambiente es el lugar donde nos reproducimos y nos alimentamos, pero ahora, la actividad humana está acabando con especies animales, afectando nuestra salud y a nuestros alimentos. Se está dando una ola de basura plástica, contaminándonos de microplásticos y de algunos tóxicos que proceden del plástico (Viviana, 2021).

En la tesis de Córdova et al. (2020), se hace mención de la presencia de residuos de plásticos PET en las calles, parques, entre otros, esto genera un impacto visualmente negativo. Además, expone que el mundo está superpoblado de botellas plásticas, esto se debe porque las empresas en su mayoría lo utilizan dándole un solo uso, generando una grave contaminación y agrediendo al planeta con sus toxinas. Así como también menciona Sánchez (2020) que la contaminación visual afecta a gran medida los paisajes naturales y artificiales, dando un desagrado al ambiente y creándose la propagación de enfermedades transmitidas por vectores como el paludismo, dengue entre otras, dado que los desechos pueden obstruir alcantarillas dándose ambientes para mosquitos y plagas.

Si se puntualiza en la contaminación del aire, esta se da por la presencia de sustancias que causan daños y molestias a los seres vivos; como los residuos de hospitales son peligrosos, y en la mayoría de los casos son incinerados produciendo contaminación en el mismo, el humo que se desprende en esta actividad genera gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂), antimonio y metales pesados impactando al ambiente (Gómez, 2016). De la misma manera Zambrano (2013) menciona que los efectos de salud por la contaminación del aire suelen ser dolores de cabeza, estrés, fatiga, problemas cardiovasculares entre otros.

En investigaciones realizadas por Aimone (2018) menciona que la contaminación de los espacios marinos se ha incrementado desde comienzos del siglo XXI, afectando a la biodiversidad y los ecosistemas marinos existentes en los diferentes océanos del planeta, es difícil estimar cuanto

tiempo tarda en biodegradarse el plástico en los océanos, pero es mucho más lento que en la tierra. De tal manera Elías (2015) manifiesta que el 80% de la contaminación del mar por plástico deriva de fuentes terrestres, y el 20% restante es de origen marino, una de las principales vías de ingreso de estos plásticos al mar son los ríos, también los drenajes pluviales y los de agua servidas. Sin embargo, la importancia de los plásticos presentes en zonas profundas es relevante, debido a que alrededor del 50% del plástico se hunde hacia el fondo marino (Rojo y Montoto, 2017). Asimismo, estos materiales poliméricos como polietileno (PE), polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) y nailon son los más consumidos por el hombre, encontrándose en mayor proporción en el mar siendo representado entre un 60-80% de los desechos marinos por lo que es importante controlar la deposición de plásticos en el entorno marino (Iñiguez, 2019).

La principal consecuencia de estos desechos plásticos en el mar es el enredo de los mismos en las criaturas acuáticas, el 54% de todas las especies de mamíferos marinos se enredan en su cuello, causándoles la pérdida o disminución de sus habilidades (Elías, 2015). Además, el 56% de todas las especies de aves marinas son afectadas a sufrir lesiones y morir al ingerir los residuos de plásticos (Pacheco, 2019).

Degradación de los materiales poliméricos.

El plástico es el material más contaminante del ambiente y solo el 9% de este se recicla, el 79 % se encuentra en vertederos y el 12% se incinera, por lo que los plásticos nunca llegan a desaparecer por completo (Lopez et al., 2020), los procesos de degradación del plástico son extremadamente lentos, desintegrándose en micropartículas siendo imposible de recolectar (Crespo, 2021), y estas partículas no son visibles en el medio ambiente pero al ser ingeridos o inhalados por la población terminan en la cadena alimentaria, que es ahí donde ocasionan daños físicos y efectos nocivos en la salud humana (González y González, 2020).

Sin embargo, el problema que enfrenta es el tiempo que tarda en degradarse el plástico por lo que es de 100 a 500 años, en donde permanece en el medio ambiente causando daños a la biodiversidad y a los ecosistemas (González y González, 2020). Por lo general los plásticos tienen su ciclo de vida al ser estos reciclados, incinerados, enterrados o desechados en el medio ambiente (Sánchez, 2020).

Técnicas más eficientes en la degradación química de los materiales poliméricos.

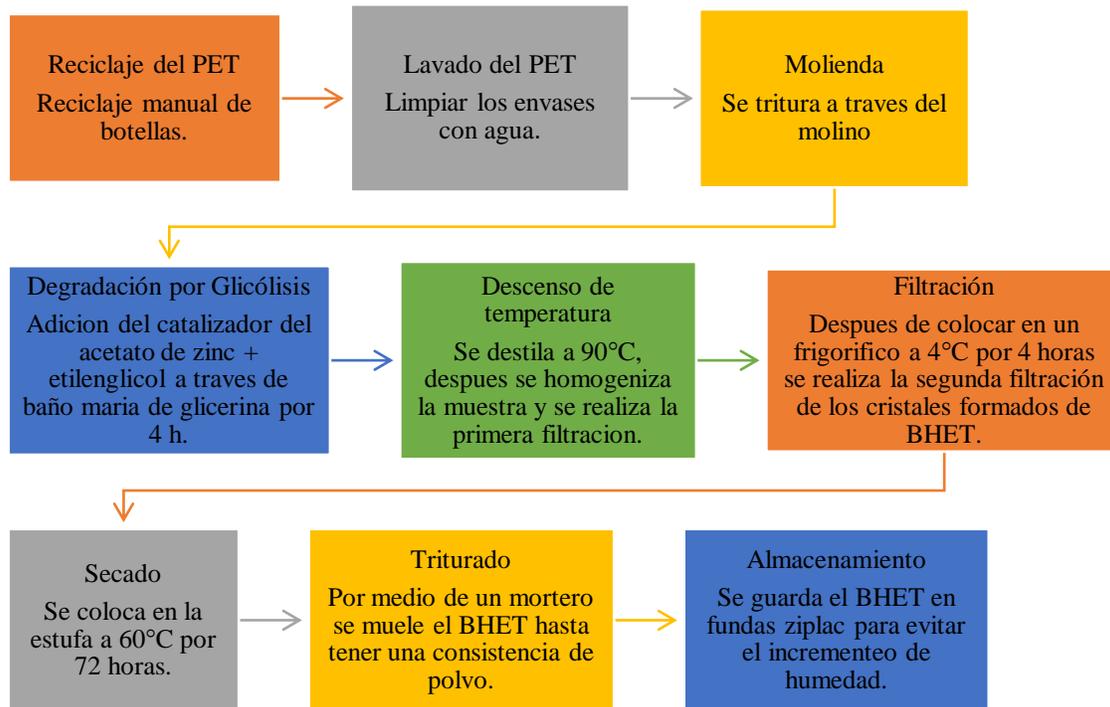
Existen procesos para la reutilización del PET que son buenas alternativas para la economía circular, que es el reciclaje químico donde una vez que se termina su vida útil se utilizan, así es,

que Suasnavas (2017) afirma que “los procesos de degradación química del PET se suelen dividir de la siguiente manera: metanólisis, glicólisis, hidrólisis, amonólisis y aminólisis”.

En tal sentido, Palma y Tenesaca (2020) investigaron sobre el proceso de metanólisis, en este reacciona el metanol a una presión entre 2 y 4 MPa durante 3 -5 horas a una temperatura entre 180°C - 280°C para obtener Tereftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG). Este proceso es utilizado por los grandes fabricantes de PET, así como por los pequeños. El inconveniente de este proceso es la necesidad de catalizadores, también por las presiones requeridas que son altas, así como también la producción de algunos oligómeros y el problema al separar los productos del etilenglicol. Asimismo, Vargas (2019) menciona que después de la terminación de la reacción de la metanólisis, es necesario desactivar el catalizador, para que en etapas posteriores del proceso no existan pérdidas de DMT como un resultado de la transesterificación con etilenglicol.

El proceso de la glicólisis de acuerdo a Herrera y Estrada (2012), nos señalan que es uno de los más antiguos, más simple y menos costoso, este se da en presencia del glicol para producir bis-2-hidroxietiltereftalato (BHET) como se muestra en la figura 1 el diagrama de proceso de degradación del PET por glicólisis, utilizando catalizadores comúnmente como acetatos de Zn, Mg, Co, en tal sentido (Fuentes et al., 2017) nos mencionan que se obtienen conversiones de hasta el 98% al BHET. Además, Oliveros y Vargas (2021) exponen que este proceso se considera ecológico, porque los productos químicos utilizados no son tóxicos ni corrosivos. Así mismo Bardales y Seclen (2021), expresan que a través de los años este proceso se ha convertido en uno de los más factibles en la degradación química, este se diferencia de la metanólisis y de la hidrólisis ya que estas requieren plantas de grandes capacidades para posibilitar su viabilidad, es así que la glicólisis de despolimerización es el proceso más viable y económico para realizar a escala industrial.

Figura 1: Diagrama de proceso de degradación del PET por glicólisis.



Fuente: (Palma y Tenesaca, 2020)

Asimismo, en investigaciones de Elias y Jurado (2012) la hidrólisis es la despolimerización a ácido tereftálico y EG, que pueden usarse de nuevo para la producción de PET tras ser depurados. Es así como Vásquez et al., (2014) nos indican que el proceso de hidrólisis se realiza en medio neutro, ácido o alcalino, así como se observa en la tabla 2 de la clasificación de hidrólisis del proceso de degradación química del PET. De acuerdo a Palma y Tenesaca (2020) estos autores mencionan que la hidrólisis es un proceso que no es viable económicamente por su tiempo de reacción que es extenso.

Tabla 2. Clasificación de hidrólisis del proceso de degradación química del PET.

Clasificación	Descripción	Presión y Temperatura
Hidrólisis ácida	Se utiliza el ácido sulfúrico concentrado.	Se evita las altas temperaturas y presiones con una eficiencia de despolimerización del 90% en tiempo corto.
Hidrólisis alcalina	Se utiliza una solución acuosa en concentraciones entre 4 -20% en peso de NaOH, KOH, NH ₄ OH.	Se da en presiones entre 1,4 – 2 MPa y Temperatura entre 210°C y 250°C.
Hidrólisis neutra	Se lleva a cabo en agua o vapor de agua con catalizadores como acetatos alcalinos.	Ocurre a presiones entre 1 y 4 MPa y Temperatura entre 200°C y 300°C.

Fuente: (Palma y Tenesaca, 2020)

El proceso de degradación química del PET mediante el proceso de amonólisis se da en una disolución acuosa con etilenglicol, a una temperatura de 120°C y 180°C, con una presión de 20 bares a un tiempo de reacción de 1-7 horas (Aleza, 2020). Estudios de Guapisaca y Pintado, (2019) manifiestan que este genera el nitrilo de ácido tereftálico y p-xililendiamina o el bis (aminoetil) ciclohexano donde una vez que se complete la reacción se filtra la amida y se la deja secar a una temperatura de 80°C, dando un rendimiento del 90%

Igualmente, la Aminólisis se realiza en una solución acuosa de aminas primarias con una temperatura de 20°C y 100°C, el PET debe encontrarse en forma de polvo, fibras o granular para así favorecer la reacción, en donde la superficie de reacción sea superior, para que mayor superficie del PET este en contacto con el medio de disolución (Aleza, 2020).

A continuación, en la tabla 3 se muestra los diferentes métodos del reciclado químico en donde se reportan los rendimientos de cada uno, así como también el impacto ambiental, y sus aplicaciones.

Tabla 3. Métodos del reciclado químico.

Métodos	Rendimiento (%)	Impacto ambiental	Aplicaciones
Metanólisis	60-90	Alto consumo de energía y emisión de productos químicos corrosivos y tóxicos.	Fabricación de nuevas botellas de PET para gaseosas y fibras de poliéster para prendas de vestir.
Hidrólisis ácida	100	Alto consumo de energía y emisión de productos químicos corrosivos y tóxicos.	Los productos de hidrólisis pueden convertirse en productos químicos más costosos como el ácido oxálico. Elaboración de fibras de poliéster.
Hidrólisis alcalina	85-100		
Hidrólisis neutra	90-99		
Glicólisis	0.3-98	Consumo intermedio de energía, consumo de productos tóxicos.	Fabricación de resinas de poliéster insaturado, espumas de poliuretano, capas de gel, capas de mármol de fundición, accesorios de baño, elementos automotrices.
Aminólisis	30-97	Procedimientos convencionales de seguridad, consumo de productos tóxicos.	Mejoras en las propiedades de PET en la fabricación de fibras con propiedades de procesamiento definidas.
Amonólisis	30-94	Procedimientos convencionales de seguridad, consumo de productos tóxicos.	Fabricación de resinas de poliéster

Fuente: (Aleza, 2020)

Es importante mencionar para que el PET reciclado sea utilizado de nuevo en aplicaciones de contacto directo con la industria alimenticia se debe utilizar la técnica de coextrusión, donde en esta se sitúa una capa de PET reciclado entre dos capas de PET virgen, realizando este proceso se debe someter a pruebas para asegurar que no se producen migraciones del reciclado hacia el alimento (Elias y Jurado, 2012).

Políticas y reglamentos aplicables en el país, en cuanto al uso racional de materiales poliméricos y su incidencia sobre el grado de contaminación ambiental que generan.

El desarrollo de la gama de productos y procesos el objetivo es minimizar los riesgos hacia el medio ambiente y la salud, para reducir la generación de desechos y prevenir la contaminación es

necesario tener en cuenta los principios tales como: prevención, economía atómica, uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida, generación de productos eficaces pero no tóxicos, reducir el uso de sustancias auxiliares, disminuir el consumo energético, utilización de materias primas renovables, evitar la derivatización innecesaria, potenciación de la catálisis, generar productos biodegradables, desarrollar metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real, y minimizar el potencial de accidentes químicos (Doria, 2009).

En nuestro país se han implementado campañas de concientización a programas de recolección de botellas PET, se ha logrado reducir sus impactos en el ambiente, pero no en su totalidad. La reducción de residuos plásticos se puede mejorar mediante ejecución de nuevas tecnologías, sistemas, dando así una solución al problema ambiental causado por este polímero (Lojano, 2020). Además, Delgado y Reyes (2019) manifiesta que, en el Ecuador la importancia de la biodiversidad y el ambiente se da desde su constitución política, el artículo 14 reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, donde garantice la sostenibilidad y el buen vivir. El artículo 15 indica que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

En el año 2011 entrando en vigencia al año 2012 se dio la ley de fomento ambiental y optimización, el reciclado de las botellas PET fue acogida por las personas a nivel nacional, con el principal objetivo de disminuir la contaminación ambiental, esta ley fue aplicada en todo el país, las cuales en coordinación con algunos sectores se controla el cumplimiento, en donde cada año mejora la cantidad de botellas PET recuperadas (Lojano, 2020). Sin embargo, en el 2020 entro en vigencia la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso, buscando regular la generación de residuos plásticos, reducción de plásticos de un solo uso por un consumo responsable, reemplazándose por envases y productos fabricados con material reciclado o biodegradable.

Conclusiones

La producción de materiales poliméricos a nivel mundial representa un alto consumo, por su versatilidad producción y aplicación en diversos campos en la industria, hoy está generando un problema ambiental, es por eso que los polímeros son más estudiados por la preocupación al medio ambiente y la salud alimentaria. En los materiales poliméricos estudiados los que mayor trae problema ambiental es el PET, por lo que tardan en degradarse por más de 100 a 500 años, en

investigaciones se ha permitido conocer cinco técnicas de reciclaje químico de este material polimérico, en donde se identificó que el método del glicólisis es el más eficiente por la economía debido a que optimiza recursos, ya que no existe la necesidad de altas tecnologías para realizarlo, así como también no tiene efectos nocivos para el ambiente. La hidrólisis y metanólisis son métodos de alto costo debido a las condiciones necesarias de temperatura y presión, y los reciclados mediante la amonólisis y aminólisis no son de gran eficiencia por su rendimiento, donde estos son considerados métodos que se llevan a nivel experimental y bajo condiciones altas de presión.

Las políticas en nuestro país mencionan la importancia de la biodiversidad y el ambiente, dándose por el estado tecnologías ambientales no contaminantes para el sector público y privado, además, se dio la ley de reciclado de botellas PET implementando campañas para la recolección de estas, que en coordinación con varios sectores se controla. También, entro en vigencia la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso donde el plástico sea reemplazado por envases y productos fabricados con material reciclado o biodegradable.

Referencias

1. Aimone, G. (2018). El plástico en el mar. *Revista Marina*(N. 964), 27-34.
2. Aleza, R. (2020). *Degradación De Polietilentereftalato (Pet) Para La Obtención De Poliuretanos*. Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles-España.
3. Balart, R., Boronat, T., Fombuena, V., García, D., & Sánchez, L. (2017). Utilidad de los modelos de viscoelasticidad en el aprendizaje de la ingeniería de materiales poliméricos. *Rev. Msel*, 10(1), 137-148.
4. Bardales, E. R., & Seclen, M. V. (2021). *Instalación de una planta de producción de Bis Hidroxi Etilen Tereftalato por glicolisis de PET reciclado*. Lambayeque – Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
5. Bernal, P., Fernández, A., González, A., Herrero, R., López, J., Marcos, Á., . . . Rubio, A. (2018). Diseño y desarrollo sostenible de materiales poliméricos. *Rev. de plásticos modernos*, 115(730), 18-26.
6. Bolaños, J. (2019). *Reciclado de Plástico PET*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
7. Burdisso, M. L., Salvatierra, L. M., & Pérez, L. M. (2015). Desarrollo de una nueva técnica de base colorimétrica para una rápida evaluación de la biodegradabilidad de materiales poliméricos. *Revista Energeia*, Vol. 13 (N. 13), 1-6.

8. Carreño, J., & Méndez, M. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Rev. Educación química*, 21(4), 291-299.
9. Castañeda, A., Flores, E., Galindo, A., & Narro, R. (2019). Compuestos poliméricos y sus aplicaciones. *Rev. Ciencia Cierta*(59), 1-13.
10. Cepeda, V., Farías, L., Rubio, A., & Sáenz, A. (2018). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de materiales poliméricos para re-uso en impresiones 3D. *Rev. Ciencia Cierta*(55), 1-13.
11. Córdova, C., Huamanchumo, M., Neyra, A., Silva, N., & Ruiz, M. (2020). *Diseño de una planta de acopio y procesamiento de plástico PET desechado para la fabricación de preformas tipo Alaska de 15 gr. en la ciudad de Piura*. Universidad de Piura, Piura-Perú.
12. Crespo, A. (2021). *Degradación de partículas de microplástico de Polietileno a partir de un consorcio microbiano aislado del contenido intestinal de la larva Galleria mellonella L.* Cuenca: Univ. Politecnica Salesiana.
13. Delgado, L., & Reyes, P. (2019). Diseño de una planta piloto para el procesamiento de polímeros plásticos (PET) en el Circuito Educativo Fiscal 13D02 C01_02 del cantón Manta como medida de reducción del impacto ambiental periodo 2018. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria de Posgrado y Cooperación Internacional CLAUSTRO*, Vol. 2(N. 3).
14. Doria, M. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Rev. de Educación Química*, 412-420.
15. Elgegren, M., Cerrón, D., Nakamatsu, J., Ortiz, B., Otero, M., Tiravanti, G., & Wagner, F. (2012). Reciclaje químico de desechos plásticos. *Rev. de la sociedad química de Perú*, 78(2), 105-119.
16. Elías, R. (2015). Mar de plástico: Una revisión de plástico en el mar. *Revista Investigación y Desarrollo Pesquero*(N. 27), 83-105.
17. Elías, X., & Jurado, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
18. Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez, E. (2016). Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: el sistema reproductor femenino. *Rev. Universidad y Sociedad*, 8(3), 80-86.

19. Fuentes, C., Gallegos, M. V., Moyano, D., Peluso, A., Cortizo, S., & Sambeth, J. (2017). *Glicólisis de PET usando como catalizadores sólidos recuperados de pilas*. Córdoba-Argentina.
20. Gómez, J. G. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico - Botellas sobre el medio ambiente*. Cundinamarca: Univ. Santo Tomás.
21. Gonzáles, R., & Gonzáles, F. (2020). *Ánalisis del sistema de reciclaje de plástico en Chile*. Chile: Univ. Talca.
22. Guapisaca, A. C., & Pintado, F. A. (2019). *Valoración de métodos químicos para obtener ácido tereftálico a partir del tereftalato de polietileno PET*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador.
23. Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). *Estudio de la factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET) en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Politécnica Salesiana Ecuador.
24. Herrera, J. R., & Estrada, A. (2012). Depolimerización de botellas de Poli (Tereftalato de Etileno) (PET) Post -Consumo mediante Glicólisis. Efecto del catalizador y del tipo de glicol. *Revista Iberoamericana de polímeros, Vol.13(N. 3)*, 117-129.
25. Iñiguez, M. (2019). *Estudio de la contaminación marina por plásticos y evaluación de contaminantes derivados de su tratamiento*. Universidad de Alicante.
26. Juaréz, M., & Vera, J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *Revista Digital Científica y Tecnológica, Vol. 9(N. 2)*, 1-12.
27. Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones*. Universidad Nacional de Educación a distancia.
28. Lojano, F. (2020). *Obtención de combustibles a partir de Tereftalato de polietileno (PET) a escala de laboratorio*. Cuenca-Ecuador.
29. Lopez, J., Pomaquero, J., & Lopez, J. L. (2020). Analisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento, 726-746*.
30. Luna, L. (2021). *Elaboración de un material polimérico a base de proteínas minerales*. México: Universidad Autónoma de Querétaro.
31. Olivera, F. (2016). *Diseño de una red de recolección de botellas PET en Lima*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.

32. Oliveros, P., & Vargas, J. (2021). *Propuesta de una alternativa de reciclaje para envases de bebida de plástico PET pos consumo de la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Fundación Universidad de América.
33. ONU medio ambiente. (2018). *Plásticos de un solo uso*. Programa de las naciones unidas para el Medio Ambiente.
34. Pacheco, L. (2019). *Promoviendo la reducción de bolsas plásticas en el mercado Santa Rosa- Yanacancha Pasco; para contribuir en la mitigación de la Contaminación Ambiental y generar cambios de conducta frente al medio ambiente 2018*. Perú: Univ. Nacional Daniel Alcides Carrión.
35. Palma, H., & Tenesaca, F. (2020). *Estudio de la degradación del PET (Polietilen Tereftalato) dosificado con celulosa de la cascara de cacao*. Universidad Politécnica Salesiana , Cuenca-Ecuador.
36. Posada, J., & Montes, E. (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. *Revista Informador Técnico*, Vol. 86(N. 1), 94-110. doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
37. Rodríguez, L., & Orrego, C. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. *Revista Científica*, Vol. 25, 252-264. doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9
38. Rojo, E., & Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Ecologistas en Acción.
39. Sánchez, J. (2020). *Impacto del plástico de un solo uso y alternativas para su sustitución en el municipio de Urrao*. Colombia: Tecnológico de Antioquia.
40. Severiche, C., Gómez, E., & Jaimes, J. (2016). La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *Telos*, 18(2), 266-281.
41. Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
42. Valero, M., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros : Avances y Perspectivas. *Revista Dyna*(N. 181), 171-181.

43. Vargas, A. (2019). *Análisis de reciclado químico de plásticos (PE Y PET) para la obtención de productos con valor agregado en México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo , Michoacán de Ocampo-México.
44. Vásquez, A., Contreras, E., Sánchez, A., Muñoz, R., Hoyos, A., & Gartner, C. (2014). Degradación Hidrolítica Del Polietilen-Tereftalato (Pet). *Revista Colombiana de Materiales*(N. 5), 100-105.
45. Viviana, R. (2021). *El uso indiscriminado del plástico contamina el medio ambiente y vulnera los derechos de la naturaleza*. Loja: Univ. Nacional de Loja.
46. Zambrano, E. (2013). *Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas del Ecuador: Diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil-Ecuador.
47. Zamudio , K., & Cuervo, L. Á. (2013). *Obtención del bis-hidroxi Etilen Tereftalato (BHET) por el método de glicolisis a partir de PET post-consumo grado botella*. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).