

**ANALISIS DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS PARA LA
DEGRADACION DE PLASTICOS**

DIANA SOFIA LOAIZA ARCILA

Proyecto integral de grado para optar al título de especialista en Gestión Ambiental

Orientador:

Harvey Andrés Milquez Sanabria

Ingeniero Químico

MSc Ingeniería – Ingeniería Química

PhD Ciencias – Energías Renovables

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ, D. C.

2022

NOTA DE ACEPTACION

Nombre
Firma del director

Nombre
Firma del Presente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigación.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán.

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro.

Secretario General.

Dr. José Luis Masías Rodríguez.

Decana Facultad de Ingeniería

Dr. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Especialización en Gestión Ambiental.

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida, acompañarme en todo este camino y guiarme para cumplir mis metas.

A mis padres por apoyarme en cada paso, aconsejarme y hacerme sentir su orgullo y amor cada día.

A mis compañeros en la especialización y mis amigos por corregirme, explicarme lo que no entiendo, incentivarne a ser mejor y nunca rendirme.

A mis profesores a lo largo de este proceso educativo y al orientador de la monografía por su infinita paciencia, sus correcciones y su dedicación.

A la profesora Nubia Liliana Becerra por su dedicación y compromiso con el aprendizaje de sus estudiantes; por su acompañamiento continuo en la especialización y su constante esfuerzo por ser mejor y brindar mejores especialistas.

¡GRACIAS A TODOS ¡

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documentos. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 8 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| OBJETIVOS | 12 |
| 1. PLÁSTICOS | 13 |
| 1.1. Historia | 13 |
| 1.2. Clasificación | 16 |
| 1.2.1. Termoplásticos | 16 |
| 1.2.2. Termoestables | 17 |
| 1.2.3. Bioplásticos | 18 |
| 1.3. Aplicaciones | 19 |
| 1.4. Contaminación | 20 |
| 2. MICROORGANISMOS | 23 |
| 2.1. Clasificación | 23 |
| 2.1.1. Protozoos | 23 |
| 2.1.2. Algas | 23 |
| 2.1.3. Hongos | 24 |
| 2.1.4. Bacterias | 24 |
| 2.1.5. Virus | 24 |
| 2.2. Aplicaciones industriales | 25 |
| 2.2.1. Industria de alimentos | 25 |
| 2.2.2. Industria química y de biocombustibles | 27 |
| 2.2.3. Industria farmacéutica y medica | 27 |
| 2.2.4. Biomateriales | 29 |
| 2.2.5. Biosensores | 29 |
| 3. MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE PLÁSTICO | 30 |
| 3.1. Térmica | 30 |
| 3.2. Radiación ultravioleta y calor | 32 |

| | |
|---------------------------|----|
| 3.3. Mecánica | 33 |
| 3.4. Química | 34 |
| 3.5. Biológico | 37 |
| 4: RESULTADOS | 39 |
| 5. CONCLUSIONES | 45 |
| 6. RECOMENDACIONES | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA | 47 |

RESUMEN

En la actualidad uno de los desechos más comunes son los de plástico, es factible encontrarlos en grandes volúmenes el suelo y el agua, sin embargo, el peligro de este no se reside en su composición sino en la cantidad que se produce, consume y desecha anualmente en todo el planeta. “Cada año alrededor de 500.000 billones de botellas y un trillón de bolsas plásticas son fabricadas en el mundo” (EPA, 2012); esto genera investigar acerca de más mecanismos para tratar esta contaminación por desperdicios plásticos; una de las posibles soluciones que se han planteado es la biorremediación, es decir, biodegradación por medio de microorganismos, como bacterias, o hongos principalmente; aprovechando su capacidad para acelerar la descomposición de estos polímeros minimizando los desperdicios colaterales. En el presente trabajo se explican los procesos biológicos que lleva a cabo un microorganismo al estar en contacto con un polímero bajo ciertas condiciones, se evidencia como dos especies de hongos y de bacterias (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Pseudomonas* y *Streptomyces*) son las más óptimas para obtener energía y alimento del polímero en cuestión como única fuente; de igual manera se hace presente la necesidad de ampliar el estudio con el fin de obtener una degradación completa.

INTRODUCCION

En el principio el hombre cotidiano contaba con las herramientas básicas para sobrevivir como las piedras, maderas y el uso de algunos metales; sin embargo, eventualmente en el afán del desarrollo y la investigación se inició la búsqueda de otras sustancias que suplieran las carencias existentes, esto revelo la existencia de los polímeros naturales como: el ámbar, la goma laca, la gutapercha. Según fue avanzando la historia se les dieron más usos a estos polímeros por ejemplo en el año 2000 a.C. en Egipto se utilizaban como resinas para embalsamar a los muertos, para moldear figuras y recipientes; Igualmente en Europa cuando transcurría el medioevo los que trabajaban con cuerno que es un astero fabricaban utensilios cucharas, peines o faroles. En india se usaba la goma laca para hacer un recubrimiento brillante, impermeable y que puede llegar a ser transparente. Para finalizar la gutapercha es una goma vegetal que es extraída de algunos árboles ubicados en la india oriental e Indonesia y era utilizado por los indígenas para recubrir algunos objetos (Crawford, The modern history of plastics , 2017)

Conforme avanzaron los años se les dio paso a los polímeros artificiales, como el estireno alrededor del año 1786 cuando se hace la descripción de la destilación del estorax (bálsamo del árbol *Liquambar orientalis*). Posteriormente en el siglo XIX se dio el descubrimiento del caucho, la ebonita, el celuloide y la caseína; estos son considerados los precursores de los plásticos modernos. Posteriormente estos cuatro iniciadores fueron evolucionando y avanzando hasta que en 1909 el científico *Baekeland* fabricó el primer polímero completamente sintético, la Bakelita (baquelita) esta es una resina de fenol-formaldehido, considerado el primer plástico termoestable, el cual cuenta con las siguientes propiedades: mecánicas, térmicas, químicas, con una mayor resistencia eléctrica y estabilidad dimensional. Este polímero es utilizado para elaborar manijas, interruptores de luz, adhesivos y las perillas de las cacerolas y sartenes. (Jefferson, 2019)

A partir de la fabricación de la baquelita la producción de los polímeros sintéticos comenzó a evolucionar hasta el punto que en los años 60 se planteó que un plástico era aquel polímero que al ser juntado con aditivos adquiere propiedades aislantes, térmicas, con un mayor rango de resistencia al peso, ácidos, bases y algunos disolventes con el fin de diferenciar el concepto de plástico del de polímero; puesto que la seda que es derivada de un polímero natural no es considerada como un producto plástico; para el año de 2017 se registraron más de 80.000 diferentes patentes registradas de polímeros plásticos. Sin embargo, en la actualidad el concepto ha variado

con el paso de los años se conoce como plástico es un conjunto de polímeros derivados del petróleo; como el polietileno de alta y baja densidad (PE), el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS). Cuyo atractivo es su resistencia a la corrosión, que son buenos aislantes térmicos, son livianos y resistentes a altas temperaturas. Por consiguiente en la actualidad los desechos más comunes son los generados por estos compuestos poliméricos; es factible encontrarlos en grandes volúmenes en los cuerpos de agua y en el suelo, esto se da debido al incremento de producción y al consumo que se ha acelerado de esta industria con el paso de los años; para el 2012 según la EPA por año se fabricaban 500.000 billones de botellas y un trillón de bolsas plásticas en el mundo, en latino América para el mismo año se consumían 31,5 kg de envases por habitante. (Castells, 2012)

Ahora bien, el problema no se fundamenta simplemente en la sobreproducción, en el uso indiscriminado por parte de los seres humanos, o que el reciclaje y rehusó se han convertido insignificantes debido al volumen que hay que procesar; los productos plásticos responden a necesidades de la comunidad con forme fueron avanzando se aumentó el consumo de los mismos diariamente hasta el punto en que se convirtió en un material omnipresente, del cual el ser humano dependiente y esta globalizado. El inconveniente es el manejo que se les da a los desechos una vez utilizado el producto en cuestión y la cantidad de tiempo que tardan en degradarse. Esto genera que entre el 60% y el 80% de lo que se conoce como basura en el ecosistema marino sea constituido por plásticos; esto agregado al movimiento de las corrientes marinas, la presión atmosférica y las corrientes de viento generan lo que se conoce como islas de plástico. Este consumo ha aumentado hasta el punto que en el año de 2017 la producción mundial supero los 300 millones de toneladas en un año dado su amplia gama de aplicaciones. dada esta problemática se analiza como degradar estos residuos de manera térmica, por medio de radiaciones, mecánica, química y biología; de igual manera se analiza la posibilidad de los plásticos biodegradables. dada la problemática que se genera por el incremento de la acumulación de residuos en el planeta, es decir, ríos mares y suelos; se analiza como degradar estos residuos a partir de diferentes mecanismos que involucren un impacto medio ambiental menor tales como: la degradación térmica, por medio de radiaciones, mecánica, química y biología; de igual manera se analiza la posibilidad de los plásticos biodegradables. (Bustamante) (Crawford, The modern history of plastics , 2017).

“La degradación es cualquier cambio indeseable en las propiedades” (Beatriz Posada, La degradación de los plásticos, Revista Universidad Eafit); para el caso de los polímeros que componen los productos plásticos este cambio se puede presentar de manera física, química y mecánica; ocasionalmente estos sucesos vienen de la mano unos con otros. Debido al nivel de contaminación que hay por desperdicios plásticos una de las soluciones que se han planteado para la degradación de los mismos es conocida como la biorremediación, es decir, biodegradación por medio de microorganismos, como bacterias, o hongos principalmente; aprovechando su capacidad para acelerar la descomposición de estos polímeros minimizando los desperdicios colaterales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la aplicación del uso de microorganismos para la degradación de polímeros

Objetivo específico

- Describir los mecanismos existentes para la degradación polímeros plásticos.
- Examinar los diferentes métodos dependiendo del microorganismo utilizado.
- Seleccionar los microorganismos más viables según su producción de enzimas.

1.PLASTICOS

Un plástico es principalmente moléculas grandes unidas entre ellas por fuerzas de enlace intermoleculares. Estas moléculas son conocidas como monómeros y cuando se unen forman la molécula conocida como polímero (macromolécula), este proceso de unificación se conoce como polimerización y se puede evidenciar mejor en la figura 1.

Figura 1.

Polimerización con el monómero de etileno



Nota. La figura representa el mecanismo de polimerización de la molécula de polietileno, ilustrando el monómero del que proviene. Tomado de Plastics, Chapter 1, 2020. Science Direct. (Valero, Plastics : Chapter 1: Polymers , 2020).

Como se ilustra en la figura en el momento de polimerización el doble enlace que posee el carbono en el monómero se divide provocando que el carbón pueda unificarse por ambas direcciones y así ir formando la molécula del polímero; Este proceso se puede dar de dos maneras, una de ellas es la policondensación y la otra es la poli adición. Dicha molécula precursora es la que las propiedades resultantes que tendrá al final la macromolécula. Pero un compuesto plástico no está conformado únicamente por el polímero que lo caracteriza, sino que requiere de un aditivo que se disuelve en el polímero o en su matriz; algunos de los aditivos que se usan son: Lubricantes, Bloqueadores de UV, Reforzantes, Plastificantes, entre otros. Adicionalmente estos también le brindan propiedades características al plástico del que hagan parte.

El material conocido como plástico es ligero, higiénico, no sufre oxidación, no presenta corrosión y es resistente; con la capacidad de ser moldeado de distintas maneras y de ahí deriva su amplia gama de aplicaciones adicionalmente de su clasificación inicial en termoplásticos o termoestables.

1.1. Historia

Comúnmente se expone el inicio de la historia de los plásticos en los inicios del siglo 20, fundamentalmente desde los años 30's; pero en el antiguo Egipto ya se utilizaban sin tener conocimiento de que estos, en procesos como la momificación para el cual era necesario sumergir

los vendajes en el betún de judea y dejarlo bajo el sol, este proceso es muy similar al utilizado en la actualidad para vulcanizar cauchos. De igual manera en la antigua Roma se realizó el descubrimiento de que el ámbar tenía propiedades eléctricas lo que permite que pueda atraer el polvo. Precisamente el nombre griego del ambar es Elektron palabra que es precursora del término electricidad y así consecutivamente se le fueron dando uso a estos plásticos sin poseer el conocimiento de que eran o como se fabricaban sintéticamente. (Crawford, The modern history of plastics , 2017)

Posteriormente, en el siglo 19 específicamente a partir del año de 1840 distintos científicos hicieron experimentos que dieron pie a descubrimientos como el de Thomas Hancock quien afirmó que si la goma se cortaba o agitaba fuertemente puede esta perder peso molecular y adaptarse a otras formas; El otro descubrimiento fue otorgado por Charles Goodyear, este asevero que si el caucho puede mantener su elasticidad y mejorar su resistencia si se calienta con azufre, esta reacción es conocida como vulcanización ; Posteriormente Christian Friedrich brindo las condiciones en que es posible controlar la nitración de celulosa, con lo que fue posible fabricar colodión. Ya para el año de 1866 se fundó la primera empresa en hacer un proceso industrial para elaborar un polímero que se modifica químicamente, esta fue la Compañía Parkesine; eventualmente se fueron fundando más compañías con propósitos similares y encontrando a aplicaciones para estos materiales. (Ambiente, 2018)

Con el inicio del siglo 20, los plásticos de los que se tenía conocimiento, proceso industrial y disponibilidad eran: La goma laca, el celuloide, la gutapercha y la ebonita, pero en 1907 se inició la producción de la resina de fenol-aldehído y de la baquelita. El PVC, PMMA, PS y poliolefinas aparecieron en la década de los 30 en Alemania y Estados unidos; actualmente dicho PVC es uno de los materiales plásticos que tiene mayor consumo. (Valero, Part1: Plastics, 2020). Posteriormente, cuando la segunda guerra mundial finalizo en 1945 se dio a conocer como este incentivo el avance de la producción e implementación de los plásticos; por ejemplo, al usar PTEE (Politetrafluoroetileno) para manipular el hexafluoruro de uranio en el desarrollo de armas nucleares, este compuesto también comenzó a implementarse para la fabricación de la tapa de antena en los fusiles de proximidad; ambos usos debido a sus propiedades de resistencia química. Adicionalmente esta guerra causa un aumento en la investigación tanto de nuevas armas como de protección contra las antiguas; en esta búsqueda se creó el ABS (acrilonitrilo termoplástico

butadieno estireno) que posteriormente (en 1946) fue patentado y utilizado para piezas de automóviles, ladrillos legos y similares. (Crawford & Quinn, The Contemporary history of plastics , 2017)

Simultáneamente el inventor Earl Silas Tupper agregó al mercado por primera vez recipientes herméticos fabricados de polietileno utilizados para almacenar alimentos, al mismo tiempo Jules Montenier comercializó su trabajo de un antitranspirante que se dispensaba aplicando presión en una botella de plástico. Los dos productos mencionados anteriormente fueron lo que provocaron que el uso comercial de botellas y envase de plástico creciera exponencialmente en todo el mundo a tal punto que era el rival del uso del vidrio. Conforme pasaron los años gracias a la empresa DuPont se originaron las películas de poliamida las cuales fueron implementadas en las prendas térmicas, en los trajes espaciales, de igual manera actuaron en las mantas de aislamiento térmico. (Crawford & Quinn, The Contemporary history of plastics , 2017)

Años después los plásticos ya se utilizaban para diversas cosas, pero se nota que sería conveniente mejorar su resistencia y durabilidad por consiguiente en el año de 1963 en Reino Unido la empresa Royal Aircraft Establishment descubrió si se mezcla el plástico con fibra de carbono aumentara la rigidez y resistencia del material. Con el paso de los años las distintas empresas alrededor del mundo fueron introduciendo mezclas de plásticos como el éter de polifenilo (PPE) o el poliestireno, entre otros. A estos materiales se les destacan características como un excelente aislamiento eléctrico, densidad baja, resistencia al calor, resistencia a tracción y estabilidad hidrolítica. (García, 2009)

Para el año de 1973 se presentó la crisis mundial del petróleo por lo cual el precio de este aceite aumentó en un 300%, esto provocó que los plásticos que derivan del etileno también aumentaran su precio entre el 50% y 200%. Debido a este evento se incentivó la investigación en otras materias primas que permitieran la fabricación de estos polímeros; a partir de esto una compañía británica investigó acerca de la producción de PHB (Polímero Polihidroxibutirato) por medio de bacterias lo que se conocen como polímeros biodegradables; de manera simultánea la compañía japonesa Mitsubishi logró crear la mezcla entre poliamida y policarbonato. Tres años después, en 1976 el uso de los materiales plásticos aumentó de tal manera que sea el más usado en todo el planeta lo cual ha prevalecido hasta el año actual (2020). Así sucesivamente fueron incursionando en las demás disciplinas, incluyendo la medicina puesto que en 1982 se implementó

el uso del primer corazón artificial inventado y diseñado por Robert Jarvic; este fue fabricado con aluminio y poliuretano. (Ambiente, 2018)

A lo largo de la década de 1990 se incorporaron una mayor variedad de plásticos biodegradables, uno de ellos fue a parar en la manufactura de pelotas de golf buscando combatir el problema generado por la exposición al agua y al dióxido de carbono en ciertas partes del campo, de igual manera también se agregaron al mercado los termoplásticos biodegradables, estos se degradan fácilmente en ambientes acuosos a temperatura ambiente. Estos fueron avanzando a lo largo de la década y tienen como materia prima tanto bacterias como algunas plantas terrestres y acuáticas. Con cada avance en la industria tecnológica se agregaban aplicaciones a los materiales plásticos tanto en fabricación como para accesorio por ejemplo la carcasa de los computadores o trajes cada vez más resistentes para los astronautas y las condiciones a las que se enfrentan. (Crawford & Quinn, *The Contemporary history of plastics* , 2017).

1.2. Clasificación

Se clasifican de acuerdo a su comportamiento bajo elevadas temperaturas; según esto se dividen en termoplásticos y termoestables.

1.2.1. Termoplásticos

Estos son los materiales plásticos que al pasar un proceso de calentamiento las fuerzas intermoleculares (van der Waals) se empiezan a debilitar lo que produce que el compuesto adquiera una mayor flexibilidad y que al continuar aumentando la temperatura se pueda transformar en una masa viscosa. Posteriormente al pasar por un enfriamiento regresa a un estado sólido nuevamente; Este comportamiento similar al de una vela cuando es sometida a altas temperaturas con la diferencia de que en los plásticos este ciclo se puede repetir infinitas veces. Debido a esto se puede afirmar que un plástico termoplástico tiene propiedades sensibles a la temperatura. Sin embargo, el comportamiento de los termoplásticos no es el mismo en todos por consiguiente sus propiedades van a diferir de igual manera dependiendo de aspectos como el largo de la cadena polimérica lo que hace referencia el peso molecular, la presencia de ramas laterales y su distribución en la cadena. Los polímeros termoplásticos pueden tener una estructura lineal y ramificada; es decir, una estructura lineal es aquella molécula en la cual los átomos se organizan en una cadena larga, esta se conoce como la cadena principal y en ocasiones puede tener enlaces con grupos pequeños

de átomos. En cambio, una estructura ramificada es aquella en la que se presentan bifurcaciones laterales en la cadena principal de distinta cantidad de átomos. Debido a estas variaciones en los polímeros termoplásticos se genera una subdivisión de los mismos en cristalinos y amorfos. (Valero, *Plastics : Chapter 1: Polymers* , 2020)

3.2. 1.a. **Cristalinos.** Los polímeros termoplásticos cristalinos hacen referencia a los que tienen una estructura a la que se puede llamar ordenada teniendo en consideración que la estructura de la cadena no logra ser completamente cristalina. Algunos polímeros tienen la habilidad de lograr cierto grado de cristalización y son llamados semi-cristalinos o parcialmente cristalinos. Los polímeros que tienen esta estructura cuentan con una mayor proximidad entre las moléculas lo que provoca que la mayoría de los plásticos que están elaborados de estos polímeros tengan una mayor densidad en comparación con los semi-cristalinos y amorfos; de igual manera la cercanía entre moléculas provoca que estos materiales tengan un punto de fusión sensible, una alta resistencia química, buena resistencia al desgaste (oxidación, corrosión, entre otros). En cuestión física estos polímeros tienen una apariencia que tiene a ser opaca y en algunos casos traslúcida esto debido al empaquetamiento de las moléculas puesto que brindan un menor espacio para transmitir la luz y se ve reflejado en el índice de refracción. En esta categoría se encuentran polímeros tales como: el Polietileno de alta y baja densidad (PE), Polipropileno (PP), Poliésteres (PET), ácidos poli lácticos (PLA), polímeros de fluoruro (PFA, FEP, PTEE Y ETFE), entre otros. (Jefferson, 2019)

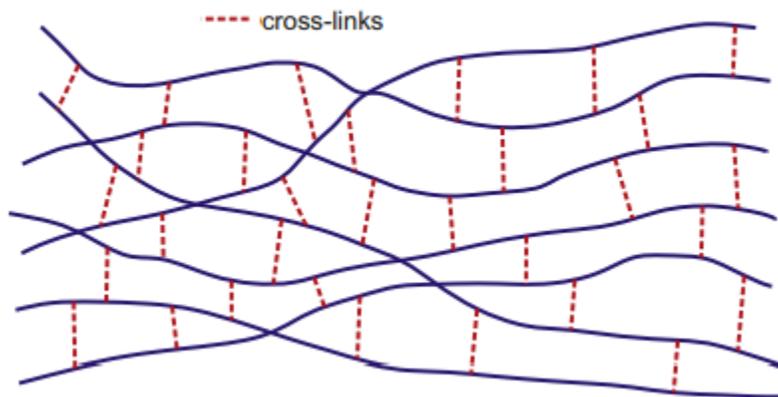
3.2.1.b. **Amorfos.** Un polímero termoplástico amorfo es aquel que tiene una estructura de cadena desordenada o aleatoria, esto implica que la estructura de la cadena sea más abierta lo que genera cambios en las propiedades como: una menor resistencia a químicos ya que estos logran una penetración más profunda en el material provocando una destrucción en los enlaces secundarios, una resistencia al desgaste baja, y un rango de resistencia a la temperatura de fusión más amplio en comparación con los cristalinos. En cuestiones físicas debido a la estructura de la cadena la luz se transmite con mayor facilidad por el material lo que provoca que este tenga una apariencia casi transparente y cuando pasan por un proceso de solidificación al tener una estructura aleatoria tienden a sufrir pequeños cambios en el volumen, lo que se conoce como una baja contracción. En esta subdivisión se encuentran polímeros como: Poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno (PPO), policarbonato (PC), entre otros. (Valero, *Plastics : Chapter 1: Polymers* , 2020)

1.2.2. Termoestables

Estos polímeros se generan a partir de una reacción química que se da en dos etapas; como resultado de la primera etapa se genera una larga cadena de moléculas similar a lo que se conoce como cadena principal en termoplásticos, en la segunda etapa es donde se produce el entrecruzamiento en las cadenas, bajo diversas condiciones de calor y presión; durante este proceso se forman enlaces más fuertes entre las cadenas lo que genera que el material cuando vuelva a ser sometido a altas temperaturas no sufra daños significativos como en el caso de los termoplásticos. Esto provoca que sean materiales rígidos y que sus propiedades mecánicas no sean sensibles a la temperatura. A esta estructura se le conoce como entrecruzada o reticulada; por consiguiente, las unidades monoméricas de las cadenas se encuentran entrecruzadas como hace referencia el nombre y se ilustra en la figura 2. Su comportamiento se puede asimilar al de un huevo cocido puesto que después de pasar por el proceso de ebullición no es posible que regrese a un estado blando. Algunos de los polímeros que son termoestables son el epoxi, la silicona, formaldehído de urea, formaldehído de fenol, entre otros. (García, 2009) (Valero, *Plastics : Chapter 1: Polymers* , 2020)

Figura 2.

Estructura entrecruzada de una cadena polimérica



Nota. La figura representa como se distribuyen las cadenas de un polímero termoestable en su estructura interna, de manera en que se entrecruzan entre ellas. Tomado de Chapter 1, *General properties of plastics*, 2020. Science Direct. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100709-9.00001-7> (Valero, *Plastics : Chapter 1: Polymers* , 2020)

1.2.3 Bioplásticos

Los Bioplásticos son otro tipo de plástico que apareció recientemente, se consideran materiales biodegradables sintéticos, para este fin son fabricados con recursos naturales tales como polisacáridos, proteínas, lípidos y ácido láctico (Biomasa y su monómero) o polihidroxicanoatos, se originan como un remplazo a los plásticos comunes y así reducir su impacto ambiental. Esto puesto que las emisiones de dióxido de carbono se reducen entre un 0.8 y un 3.2 toneladas comparadas con las emisiones que son emitidas de este gas por parte de los plásticos convencionales. (Perez, 2018)

El uso de este material se ha incrementado entre un 20 y 30 % para el año 2009, un año siguiente en México se implementó una ley de residuos sólidos, esto debido a que no poseen sustancias químicas que sean consideradas tóxicas para el ambiente, son material que sufren una descomposición rápida, en su proceso de elaboración se hace un menor consumo energético, son reciclables lo que reduce su costo de producción, pueden ser utilizados como abono y si son implementados para fabricar envases alimenticios no alteran las propiedades de estos productos consumibles.

Uno de los polímeros que se ha fabricado a base de recursos renovables es el Ácido Poli láctico (PLA) formado por el ácido láctico; este se puede implementar como sustituto del PET o Tereftalato de Polietileno debido a que sus propiedades son semejantes, esta macromolécula se puede disociar en agua u oxido de carbono. Adicionalmente es ampliamente utilizada para impresiones 3D, elaboración de empaques para frutos secos y también se utiliza para producir materiales de sutura reabsorbibles lo que disminuye el riesgo de infección para el paciente o para encapsular medicamentos como la insulina o antiinflamatorios. (Troya, Rodriguez, & Calvache, 2017).

1.3. Aplicaciones

Los productos plásticos tienen múltiples aplicaciones en la actualidad por su amplia variedad y características; estas aplicaciones dependen del tipo de polímero en cuestión, actualmente se clasifican como 7 ; el primero es el polietileno tereftalato (PET) identificado con el número 1 en los productos que lo utilizan como principal material, este polímero es utilizado para fabricar envases de para bebidas, para alimentos tales como aderezos, mermeladas o para empaques de cremas o productos farmacéuticos; el segundo en orden de simbología es el polietileno de alta densidad (HDPE) se considera flexible ,resistente a químicos y fácil de pigmentar por lo cual es

utilizado elaborar bolsas para supermercado, envases para leche, helados o jugos de igual manera se utiliza para envases de shampoo , detergentes , productos químicos y para elaborar tapas. En tercer lugar, está el policloruro de vinilo (PVC) este en contraste es duro y resistente, cuenta con un color claro y elasticidad debido a estas características es utilizado para producción de envases de plomería, para tuberías, mangueras, suelas para los zapatos, cables y en ocasiones se implementa para producir correas de relojes. (Jefferson, 2019)

El cuarto polímero en simbología es conocido como el polietileno de baja densidad (LDPE) el cual es un polímero suave, flexible y traslucido; por esto se utiliza para elaborar películas de empaque, bolsas para basura y envases para el laboratorio; el quinto polímero es el polipropileno (PP) este es traslucido , versátil y con resistencia a los solventes esto hace que se optimo para producir bolsas para comida empaquetada, pitillos, cajas para alimentos , también es implementado para elaborar herramientas de jardinería, cintas, envases para productos farmacéuticos y veterinarios. El sexto es conocido como poliestireno (PS) es claro, rígido y opaco; es utilizado para fabricar cajas de discos compactos, cubiertos de plásticos (desechables), imitaciones de cristal, algunos juguetes o envases para cosméticos; en esta categoría también está el poliestireno expandido (PS-E) este además de las características del anterior también se puede describir como esponjoso, ligero y adicionalmente mantiene la temperatura por esto es utilizado para elaborar tazas para bebidas calientes, empaques para comida, envases para el hielo seco y empaques para la mercancía que se considera frágil. (Garcia, 2009)

Finalmente, según la simbología el séptimo es un conjunto de distintos polímeros en los que se encuentran el acrilonitrilo butadieno estireno, el nylon, el estireno acrilonitrilo y el Policarbonato estos son implementados para producir partes automotrices, hieleras, piezas para productos electrónicos, piezas para empaques. Considerando la clasificación de polímeros expuesta anteriormente se puede afirmar que las aplicaciones de los productos plásticos se evidencian en la mayoría de utensilios que se implementan en la cotidianidad. (Valero, Plastics : Chapter 1: Polymers , 2020)

1.4. Contaminación

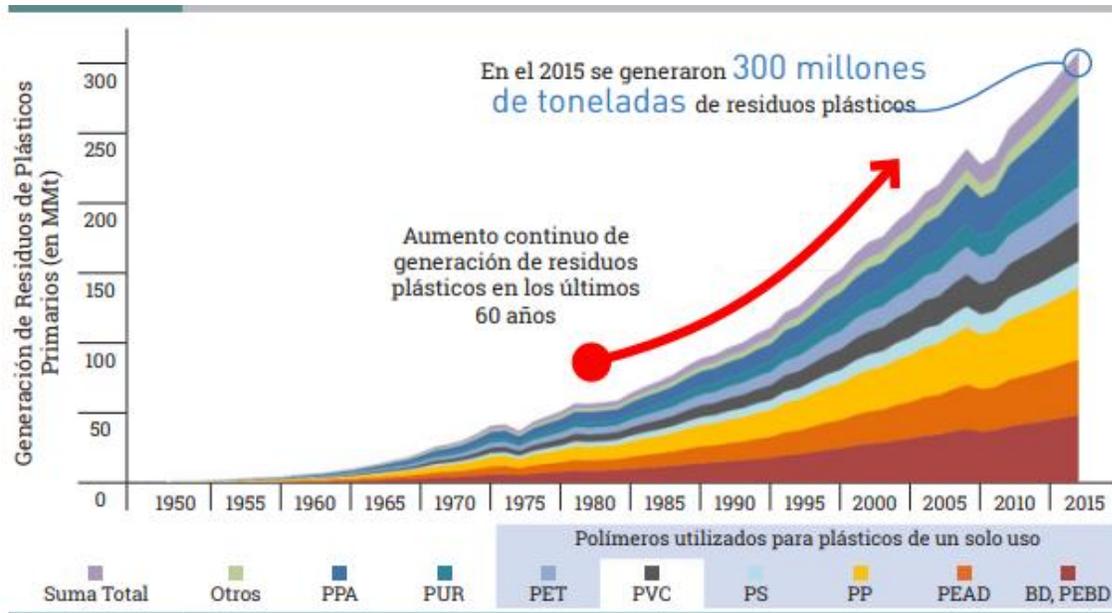
La mayoría de los plásticos no se biodegradan al contrario pasan por un proceso llamado foto degradación; el cual da inicio a partir 4 agentes externo (luz, calor, humedad y oxígeno) generando 3 tipos de reacciones en la etapa intermedia del proceso, es decir reacciones de escisiones,

entrecruzamientos y oxidativas. Sin embargo, este proceso ocurre lentamente y varía dependiendo de la temperatura del ambiente por ejemplo en el océano por su menor exposición a los rayos ultravioleta y sus bajas temperaturas la foto degradación tarda más de lo esperado. En este proceso de descomposición se producen los micro plásticos, los cuales generan un aumento en el nivel de contaminación y en la dispersión de estos contaminantes en toda la superficie. (Ambiente, 2018)

“Cerca del 50% de los residuos plásticos generados a nivel, mundial en 2015 fueron envases plásticos” (Claudia Giacovelli; 2018). Adicionalmente a este factor el crecimiento de la producción de plásticos ha aumentado considerablemente en los últimos 70 años como se evidencia en la figura 3. Si este incremento no se disminuye en las próximas décadas se estima que en el 2050 la industria la industria de producción de plástico será la responsable del 20% del consumo mundial de hidrocarburos fósiles. Pará 2017 el 36% de producción mundial de plásticos al año (400 millones de toneladas) eran destinados a envases plásticos; de los cuales la mayoría son diseñados para ser desechables (plásticos de un solo uso) y la mayor producción de estos se genera en Asia nororiental sin embargo no son los mayores generadores de residuos plásticos; estos serían China en primer lugar seguido por Estados unidos tanto en residuos totales como en residuos por cápita. (Carlini, 2018)

Figura 3.

Producción mundial de residuos de plásticos entre 1950 y 2015.



Nota. La figura representa como ha aumentado la generación de residuos con el paso de los últimos 60 años, evidenciando un avance acelerado a partir de 1980. Tomado de Plásticos de un solo uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad, 2018. (Ambiente, 2018)

El problema de estos niveles de consumo y producción de residuos plásticos; es su destino al final de su ciclo de vida. Parte de estos productos plásticos son reciclados (9%), otros incinerados (12%), otros van a vertederos (79%) tanto regulados como no regulados y finalmente parte de ellos son desechados directamente en el medio ambiente. Debido al desequilibrio en estos porcentajes beneficiando al destino menos favorable en términos ambientales regiones como Europa han llegado a un acuerdo político entre el consejo, la comisión y el parlamentó para que en 2025 el 65% de los envases plásticos sean reciclados e ir aumentando progresivamente este porcentaje con el paso de los años. (Ambiente, 2018)

Entre los productos que siempre destacan en las listas de hallazgos más comunes en superficies que son limpiadas tales como playas, parques, entre otros. siempre destacan las botellas plásticas, los envoltorios de comida, envases para comida de espuma de polietileno, tapas de botellas de plástico, pitillos, bolsas de plástico, botellas de vidrio, entre otras. Estos generan contaminación

en el suelo y en agua que puede permanecer ahí hasta mil años; presentando riesgo de asfixia e ingesta para la vida marina y terrestre. (Carlini, 2018)

2. MICROORGANISMOS

Se le llama microorganismo a los organismos que son tan pequeños que el ojo humano no logra percibirlo, estos tienen un diámetro de 1.0 mm o menos; cuentan con diferentes distribuciones taxonómicas; entre ellas se incluyen los protozoos, metazoos, algas, fungí, bacterias y virus. El uso de los microorganismos en la vida del hombre se ha dado desde el inicio de los tiempos solo que el ser humano no era consciente de ello, sin embargo, se cree que el descubridor de estos microorganismos, llamados en su momento fueron llamados animacules, es Antonie Van Leeuwenhoek (1632-1723), un comerciante holandés que actualmente es conocido como el padre de la microbiología; él construyó un microscopio que era capaz de aumentar la imagen visualizada entre 50 y 400 veces. Gracias a este logro describió protozoos, bacterias, levaduras y algas. En las células vivas compuestas por protoplasma, ácidos nucleicos, proteínas y lípidos; todos ellos cuentan con membranas celulares que definen su forma; de igual manera entre sus características principales se encuentra el factor de su rápido crecimiento y reproducción, en solo 24 horas pueden pasar 100 generaciones de uno de ellos. (Pathak, Tikkoo, & Goyal, 2016)

2.1. Clasificación

Los microorganismos tienen diversas formas de clasificarse, dependiendo de su funcionabilidad o estructura interna; una de las formas de subdividir este tema es en 5 subdivisiones, las cuales se presentan a continuación:

2.1.1. Protozoos

En esta categoría se encuentran los organismos unicelulares, que están presentes en todas las formas de vida existentes, de igual manera son de los organismos más sencillos existentes; cuentan con una pared y una membrana celular que cumple con la función de mantener la estructura interna de la célula; algunos de estos son los causantes de enfermedades en humanos o animales como la *Amoeba*, otros están en el interior del organismo de algunos seres vivos para cumplir funciones como la *Trichonympha* que se encuentra en el intestino. En la siguiente imagen se puede evidenciar la estructura a grandes rasgos de este organismo. (Tortora, Funke, & Case, 2007)

2.1.2. Algas

Estos son organismos tan diversos que pueden ser unicelular y multicelular; sexual o asexual; cuenta con una estructura filamentosa y una pared celular en la que se encuentran proteínas como

pectina y celulosa, este cumple con la función de mantener la estructura interna en su lugar y brindar soporte a los organelos internos del organismo. Este contiene clorofila y de ahí deriva su tonalidad verde y es un organismo fotosintético; las distintas especies de estos tienen diferentes aplicaciones como la *Cephaleuros* que ocasiona el color rojo en el té o las algas Verdes azules que tienen la propiedad de fijar nitrógeno; al igual que estas se pueden encontrar más especies con características particulares; a continuación, se presentará una imagen de la vista de estas algas. (Pathak, Tikkoo, & Goyal, 2016)

2.1.3. Hongos

Los hongos son otro tipo de microorganismos que pueden ser tanto unicelulares como multicelulares, por esto es factible que sean percibidos sin la necesidad de un microscopio. De igual manera su reproducción también es versátil ya que es tanto sexual como asexual, una de sus características principales es que no es fotosintético. Además de esto su comportamiento es tanto saprofito y como parásito, de ahí que en ocasiones se puedan encontrar en comidas o material orgánico en descomposición. En la siguiente imagen se pueden observar las variedades en que se pueden encontrar en la naturaleza. (Cerrato & Alarcon, 2007)

2.1.4. Bacterias

Las bacterias son los organismos que se encuentran en toda la naturaleza sin importar las condiciones, gracias a esto se puede decir que son la forma de vida más abundante, sus medidas son alrededor del micrómetro o inferiores por esto es necesario de instrumentos como el microscopio para definir las visualmente; son organismos unicelulares, asexuales y por la variedad de los mismos tienen diversas aplicaciones industriales sus especies; por ejemplo la *Lactobacillus* es utilizada para producir mantequilla, queso y similares. En la siguiente imagen se ilustra cómo se generalmente la estructura de una bacteria, sin embargo, es necesario tener en cuenta que por su versatilidad hay aspectos en su estructura que pueden cambiar según su especie. (Pathak, Tikkoo, & Goyal, 2016) (Cerrato & Alarcon, 2007)

2.1.5. Virus

El virus es aquel que posee un tamaño microscópico de forma que solo es posible verlo con un microscopio electrónico; esta forma de vida vive por medio de una célula hospedadora puesto que por sí solo un virus no es capaz de hacer su propia división celular; por consiguiente, vive como

un parásito intracelular que puede atacar bacterias, hongos, plantas y animales. Su estructura general se ilustra en la siguiente imagen. (Tortora, Funke, & Case, 2007)

2.2. Aplicaciones industriales

La implementación de los microorganismos a nivel industrial es conocida como biotecnología debido a su componente biológico; considerando sus capacidades biosintéticas y su biodiversidad se les estima con gran potencial para la exploración de moléculas y aplicaciones en la industria de alimentos, compuestos químicos, farmacología, la agricultura, combustibles, materiales, entre otros. La primera aplicación biotecnológica que se le dio a estos organismos documentada fue para fermentar granos de cereales para la producción de bebidas alcohólicas; esto se dio en una aldea de Jiahu en China en el año 7000 aC, esta misma aplicación se dio en el norte de Mesopotamia en el año 5400 aC. Posteriormente en Egipto se implementaron para producir pan con levadura, siguiendo con prácticas de fermentación en el 1200 aC; de esta manera fue avanzando hasta el punto de ser utilizados en la industria alimenticia, en la de explosivos, en la farmacéutica, en la petrolera, entre otras. (Ortiz, Rosas Arango, & Gonzalez Devia, Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos, 2019).

2.2.1. Industria de alimentos

Como se mencionó previamente el primer uso que se le dio a los microorganismos de manera industrial fue en los alimentos, eventualmente se fueron integrando en más procesos no solo en busca de la obtención de alimentos sino como aditivos que tienen como objetivo mejorar las características organolépticas también optimiza las funciones nutricionales de los mismos. Con el paso de los años el uso de los mismos se ha intensificado debido al aumento de la demanda que ha sido proporcional con el incremento poblacional; eventualmente se comenzaron a aplicar técnicas biotecnológicas en la industria alimenticia (1970), en la siguiente figura se puede ver como con el paso del tiempo se implementaron diferentes microorganismos como bacterias, levaduras, entre otros a lo largo de varios procesos en la industria de alimentos. (Barrera, Rodríguez, Perilla, & Algecira, 2007)

Figura 4.

Aplicación de microorganismos en la industria de alimentos a lo largo de los años.



Nota. La figura representa el avance a través de los años de la aplicación de microorganismos en la industria de alimentos. Referenciado de Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos, 2019. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzalez Devia , Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos, 2019)

A partir de estos avances se le adjudicaron dos funciones al uso de microorganismos en la producción de alimentos. La primera de ellas es como iniciadores en las fermentaciones y la segunda de ellas es la que inicio con las aplicaciones biotecnológicas, es decir, la elaboración de ingredientes para la industria de alimentos, para esto fue necesario utilizar microorganismos

modificados genéticamente y se hace una fermentación indirecta por consiguiente incluye la participación de aditivos y metabolitos.

2.2.2. Industria química y de biocombustibles

En esta industria se aprovechan los desechos de algunos productos para ser implementados como sustrato de algunos microorganismos con el fin de resolver inconvenientes ambientales; una de las aplicaciones de dichos desperdicios más utilizada en la actualidad es con el fin de acabar la dependencia de combustibles fósiles por medio de síntesis de químicos por medio de procesos metabólicos microbianos para generar energía considerada como renovable o energía limpia, bajo esta premisa se espera que a futuro el 25% de la energía renovable provenga de biogás. Para esta finalidad se utilizan *pseudomona*, biomasa de lignocelulosa, proteobacterias, actino bacterias, entre otras que fomentan la producción de primera y segunda generación y biogás. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzales Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019).

Adicionalmente se han implementado variabilidad de cepas en la producción de compuestos químicos tales como el ácido cítrico por medio del *Aspergillus niger*, el ácido láctico a partir de *lactobacillus*, *Rhizopus* o *Saccharomyces cerevisia*; de igual manera se ha hecho la producción de acetona y butanol utilizando *Clistridium*, entre otras aplicaciones. (Olazabal, Perez Sanchez , Gonzalez Suarez , Perez Sanchez, & Alvarez Laugart, 2015)

2.2.3. Industria farmacéutica y medica

Para estas dos industrias la implementación de microorganismos se ha visto implicada en 4 factores; el primero de ellos está fundamentado en el control de enfermedades, el segundo es con el fin de producir vacunas, otra funcionalidad que se les atribuye a los microorganismos en este ámbito es para la producción de antibióticos y finalmente para producir bioterapeuticos, es decir, biomateriales, hormonas, entre otros. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzales Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019)

Una de las aplicaciones con mayor impacto en esta industria ha sido la producción de vacunas en la tabla 1 se puede evidenciar a grandes rasgos que tipo de microorganismos se han utilizado para que tipo de vacuna en específico.

Tabla 1.

Aplicaciones de los microorganismos en la producción de vacunas

| Tipos de vacunas | Descripción | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|------------------------|---------------------------|--|-------------|---|-----------------------------|---|-----------------------|---|
| Vacunas atenuadas o vivas | Utilizan patógenos atenuados | | | | | | | | | | |
| Vacunas inactivadas | Contienen patógenos completamente inactivados o fraccionados o solo componentes antigénicos de estos patógenos, subdivididos: | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"><thead><tr><th>B1</th><th>Enteros o fraccionados</th></tr></thead><tbody><tr><td>B2 vacunas de subunidades</td><td>Utilizan proteínas, péptidos o ácidos nucleicos como antígenos</td></tr><tr><td>B3 toxoides</td><td>Usan toxinas patógenas inactivadas como antígenos</td></tr><tr><td>B4 vacunas de carbohidratos</td><td>Producidas a partir de polisacáridos, oligosacáridos y glicanos</td></tr><tr><td>B5 vacunas conjugadas</td><td>Tienen polisacáridos combinados con proteínas de transporte</td></tr></tbody></table> | B1 | Enteros o fraccionados | B2 vacunas de subunidades | Utilizan proteínas, péptidos o ácidos nucleicos como antígenos | B3 toxoides | Usan toxinas patógenas inactivadas como antígenos | B4 vacunas de carbohidratos | Producidas a partir de polisacáridos, oligosacáridos y glicanos | B5 vacunas conjugadas | Tienen polisacáridos combinados con proteínas de transporte |
| | B1 | Enteros o fraccionados | | | | | | | | | |
| | B2 vacunas de subunidades | Utilizan proteínas, péptidos o ácidos nucleicos como antígenos | | | | | | | | | |
| | B3 toxoides | Usan toxinas patógenas inactivadas como antígenos | | | | | | | | | |
| B4 vacunas de carbohidratos | Producidas a partir de polisacáridos, oligosacáridos y glicanos | | | | | | | | | | |
| B5 vacunas conjugadas | Tienen polisacáridos combinados con proteínas de transporte | | | | | | | | | | |
| Vacunas de ADN | Contienen plásmidos que contienen genes que codifican antígenos inmunogénicos | | | | | | | | | | |
| Vacunas recombinantes | Contienen virus diseñados para transportar genes que codifican antígenos de otros virus que causan enfermedades. | | | | | | | | | | |

Nota. En la tabla se ven cuatro tipos de vacunas y como han sido influenciadas por microorganismos para su desarrollo. Tomado de Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos. NOV, Unidad de investigación Universidad Santo Tomas,2019. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzalez Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019)

De igual manera la producción de productos bioterapeúticos ha tenido gran impacto y aplicabilidad de microorganismos; en específico de células microbianas recombinantes, las cuales se utilizan para producción de anticoagulantes, hormonas, antígenos, proteínas, entre otros. de igual manera esta aplicación de los microorganismos ha sido parte fundamental para la comprensión de la relación existente entre la estructura y la proteína por lo cual se ha generado un mejor entendimiento de las reacciones involucradas en el sistema inmune al igual que en la biología celular. En el caso de las proteínas se utiliza mutagénesis dirigida, por consiguiente, se puede hacer sustitución, eliminación y la inserción de aminoácidos en la cadena de una proteína y eventualmente esto permite una mayor disponibilidad de biobetadores con un menor costo y esto

a su vez favorece los productos farmacéuticos. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzalez Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019)

2.2.4. Biomateriales

La implementación de microorganismos en la industria se considera una técnica biotecnológica, con la cual se obtienen biomateriales; estos son productos que pueden ser artificiales o naturales pero su característica primordial es que fueron sintetizados por microorganismos en distintas condiciones ambientales. Entre estos biomateriales se encuentran los bioplásticos, estos son poliésteres acumulados de manera intracelular en microorganismos, cuentan con propiedades fisicoquímicas con similitudes a los plásticos que se obtiene petroquímicamente sin embargo son materiales biodegradables y biocompatibles; su uso principal es en la fabricación de materiales médicos o para administración de fármacos. (Olazabal, Perez Sanchez , Gonzalez Suarez , Perez Sanchez, & Alvarez Laugart, 2015)

2.2.5. Biosensores

De la misma manera en que se involucraron los microorganismos en el desarrollo de materiales, se ven también aplicados en la producción de biosensores, estos brindan la capacidad de producción masiva por medio de un cultivo celular. Los biosensores cumplen con la función de integrar los microorganismos con un transductor físico (es un dispositivo que transforma una magnitud física en una señal eléctrica) con el fin de producir una señal que sea medible e igualmente sea proporcional a la concentración de analitos; esto genera una detección más rápida de compuestos en análisis utilizados en campos como la medicina, el procesamiento de alimentos, el monitoreo ambiental (contaminantes), entre otros. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzalez Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019) (Bustamante)

Esta aplicación de los microorganismos se ha visto beneficiada por avances tecnológicos tales como el ADN recombinante, puesto que en esta técnica se construyen cepas microbianas recombinantes con un gen (lux, GFP o lac Z) que genera una señal al producirse una reacción biológica entre un microorganismo y un analito. Adicionalmente se han implementado microorganismos para detección de metales pesados o para detectar propanodiol y etanol. (Ortiz, Rosas Arango , & Gonzalez Devia , Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos, 2019)

3. MECANISMOS DE DEGRADACION DE PLASTICO

La degradación es cualquier cambio que se presente que sea poco favorable en las propiedades de los polímeros; se pueden evidenciar a partir de cambios físicos como lo son: la pérdida del brillo superficial, la erosión (desgaste) en la superficie, Decoloración y la pérdida de las propiedades mecánicas tales como la tracción, dureza y flexión. De igual manera también se comprueba con cambios químicos; como lo son: las reacciones de entrecruzamiento y la ruptura de enlaces. El proceso de degradación da inicio a partir de un agente externo por el cual se conoce el tipo de degradación que ocurre y por consiguiente la modificación de la estructura del polímero.

3.1. Térmica

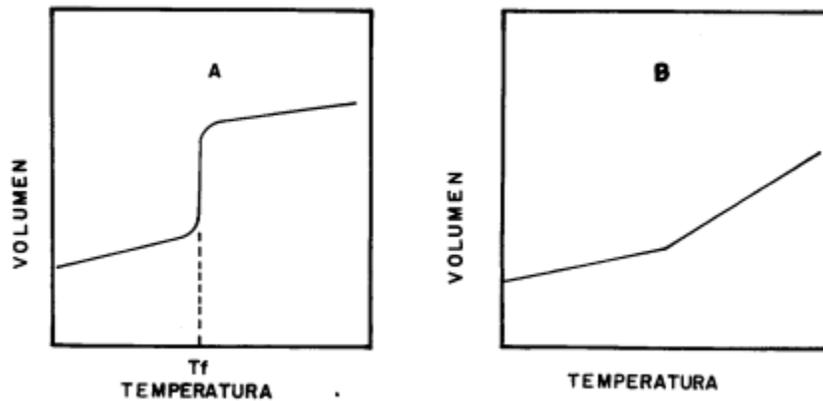
El mecanismo de degradación térmica es definido como el proceso en el que se producen cambios químicos en el polímero sin la participación de sustancias químicas adicionales; esto se da porque conforme aumenta la temperatura incrementa la vibración de los segmentos de la cadena polimérica lo cual debilita las fuerzas cohesivas entre las moléculas; esto produce que el material se ablande y se vean afectadas las propiedades físicas, mecánicas, ópticas y eléctricas. En los polímeros funciona debido a que las macromoléculas orgánicas que componen los polímeros son estables únicamente cuando están entre temperaturas de 100°C y 200°C; solo con unas pocas excepciones. Sin embargo, cuando la temperatura se eleva considerablemente de los 200°C el polímero se puede fundir o descomponer dependiendo de si es termoplástico o termoestable. (Bustamante)

La estabilidad térmica se conoce como la capacidad que posee un material para resistir un cambio de temperatura que repercute en la forma física; en los materiales plásticos esta depende de dos diferentes mecanismos, el primero de ellos es un proceso reversible en el cual el material se ablanda conforme la temperatura se incrementa sin embargo este estado de reversibilidad depende del tiempo que dura el material sometido a esa temperatura. El segundo mecanismo es un proceso irreversible por consiguiente se conoce como la descomposición de una sustancia o material ocasionado por el aumento de temperatura (calor) por lo cual se ve directamente afectado por el tiempo de exposición y por la temperatura; en este mecanismo se producen dos tipos de transiciones en la primera se ve un cambio radical en el volumen cuando se alcanza la temperatura

de transición vítrea (es la temperatura a la cual las propiedades físicas de un polímero se empiezan a comportar como un material elástico) en cambio en el segundo el aumento de este se da de manera progresiva como se puede evidenciar en la figura 5. (Barrera, Rodriguez, Perilla, & Algecira, 2007)

Figura 5.

Alteraciones en el volumen de los plásticos con respecto a la temperatura.



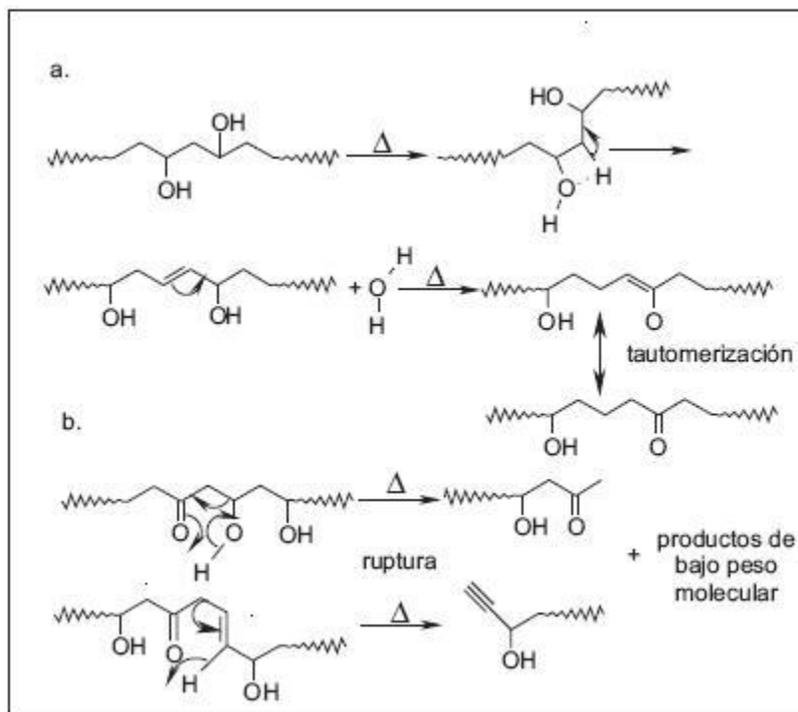
Nota. La figura representa como se ve afectado el volumen del polímero cada vez que se aumenta la temperatura y el efecto que tiene en esto el paso por la temperatura de transición vítrea. Tomado de La degradación de los plásticos. Revista Universidad Eafit. (Bustamante)

Adicionalmente en poliolefinas (polimerización de olefinas) la degradación térmica se da por otros dos mecanismos, el primero se fundamenta en la separación de los grupos funcionales del polímero y así formar cadenas de bajo peso molecular que se volatilizan de forma sencilla con la temperatura de degradación; el segundo proceso es por medio de la depolimerización, es decir el rompimiento de la cadena principal por medio de la disminución del peso molecular esto eliminando grupos hidroxilos (-OH). Estos procesos de degradación funcionan iniciando con la pérdida de agua por parte del polímero elevando su temperatura a unos 300°C, lo que con lleva a la formación de una cadena insaturada, esta cadena pasa por una reacción de tautomerización con los grupos hidroxilos y esto genera grupos carbonilo en la cadena principal. Cómo los grupos carbonilo son inestables a alta temperatura, cuando se forman en la cadena principal del polímero inducen la escisión de la

macromolécula; estas reacciones se pueden evidenciar en la figura 6 utilizando como ejemplo el Poli alcohol Vinílico (PVA) (Barrera, Rodriguez, Perilla, & Algecira, 2007)

Figura 6.

Reacciones de degradación del Poli alcohol Vinílico.



Nota. En la figura se representa las reacciones de eliminación de grupos hidroxiló y la ruptura de cadenas de bajo peso molecular. Tomado de Estudio de la degradación térmica de poli alcohol vinílico mediante termogravimetría y termogravimetría diferencial, 2007. (Barrera, Rodriguez, Perilla, & Algecira, 2007)

3.2. Radiación ultravioleta y calor

La radiación es considerada la emisión, propagación y transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas o partículas. En los polímeros la radiación que producen una mayor afectación son las de alta energía y las de luz visible o ultravioleta. En el caso de la degradación por radiación de alta energía en los polímeros se producen dos cambios en las moléculas; el primero es la formación de entrecruzamiento intermolecular en cambio el segundo se produce una

fragmentación irreversible de las moléculas dando paso a la degradación de las mismas. (Carlini, 2018)

En los polímeros la absorción de la energía de la radiación ocurre por interacciones entre el núcleo del átomo y las nubes electrónicas; estas interacciones energéticas se desperdician en la mayoría de casos con los polímeros debido a que las energías de la cinética o del fotón son inferiores a 10 MeV (Mega electronvoltio; Equivale a 10^6 electronvoltios) adicionalmente están constituidos por núcleos livianos. Por consiguiente, se puede afirmar que la radiación de alta energía es la óptima para iniciar la despolimerización de igual manera se aplica un incremento de temperatura para que a su vez aumente la movilidad molecular y en correlación el efecto de la radiación. (Bustamante)

Como se mencionó anteriormente para que ocurra una degradación en polímeros por radiación se utiliza alta energía o luz ultravioleta; la mayoría de los polímeros reaccionan químicamente en contacto con rayos UV debido a impurezas que los adsorben esto genera que la exposición de polímeros orgánicos a la luz solar se produzcan fotorreacciones que producen que el material se ponga frágil y pierda su color inicial. Esta reacción física es un efecto de la división de las cadenas principales del polímero, del entrecruzamiento y finalmente de la generación de grupos insaturados y de compuestos volátiles. De igual manera se generan radicales libres que al entrar en contacto con el oxígeno producen reacciones de autooxidación por lo cual este mecanismo de degradación también se conoce como fotooxidación. (Krasowska, Heimowska, & Rutkowska, 2015)

3.3. Mecánica

La degradación que se genera de manera mecánica se basa en los efectos producidos por una fuerza externa, esta produce efectos macroscópicos que eventualmente generan una fractura o la deformación de la estructura; la degradación mecánica se da principalmente por 5 procesos físicos, la laminación, cizallamiento, tracción, compresión, ultrasonido, impacto, entre otros. En estos se somete al cuerpo plástico a distintas fuerzas con el fin de cambiar su forma física, sin embargo, esto genera un cambio en la cadena principal como una división, rupturas en entrecruzamientos y a su vez reacciones adicionales de entrecruzamiento. (Krasowska, Heimowska, & Rutkowska, 2015)

La separación de la cadena polimérica se da dependiendo del estado en que se encuentra la misma, sucede cuando la distribución de las tensiones internas se desequilibra por una fuerza aplicada en un segmento del material; y no requiere de una cantidad de fuerza alta debido a la resistencia media a la compresión y tracción. Sin embargo, para cambiar las propiedades mecánicas o generar un mayor efecto se usa con frecuencia las temperaturas criogénicas (77.36°K o -195.79°C) y el ultrasonido (Mayor a 20.000 Hz). En el caso del uso del ultrasonido se produce cavitación en el polímero, es decir la formación de burbujas de vapor; adicionalmente se rompen las cadenas de manera que la distribución del tamaño molecular de las resultantes es similar, se reduce la viscosidad; la velocidad en que la degradación mecánica por ultrasonidos funciona depende de la frecuencia utilizada y el tipo de polímero en degradar puesto que los enlaces oxígeno-oxígeno se rompen 500 veces más rápido que los enlaces carbono-carbono. En el caso de la degradación utilizando congelación (temperaturas criogénicas) se produce una ruptura en los enlaces de la principal cadena polimérica debido a la variación que se genera en la densidad del material. (Bustamante) (Barrera, Rodríguez, Perilla, & Algecira, 2007)

3.4. Química

Esta degradación es producto de la acción de reactivos químicos, es decir, ácidos, bases, solventes, gases reactivos, entre otros. Considerando la variedad en polímeros estos mecanismos de degradación son más eficientes en algunos casos más que en otros; por ejemplo, en el caso PET la hidrólisis alcalina (hidróxido de potasio) es más rápida que la hidrólisis ácida y neutra. Este proceso se conoce como deterioro y se produce de manera natural en un proceso más lento; una de las formas en que se da es por corrosión; la evidencia de que se está dando esta degradación de manera natural es cuando se presentan efectos en las propiedades mecánicas de los plásticos y en sus propiedades dieléctricas. (Barrera, Rodríguez, Perilla, & Algecira, 2007)

Las principales reacciones que se presentan aquí son de solvolisis (reacción de sustitución) en esta se produce la ruptura entre los átomos de carbono y los átomos diferentes al carbono, tales como oxígeno, nitrógeno, potasio, sulfuro o halógenos; en caso de que estos átomos se encuentren en la cadena principal del polímero se producirá la separación de la misma. Para este proceso se utilizan como agente de iniciación principalmente el agua, el amoníaco, los alcoholes, la hidrazina, etc. En el caso de esta degradación un concepto que se maneja con bastante frecuencia es la solvencia; puesto que cuando entra un polímero en contacto con un solvente en el que es soluble se produce

una hinchazón debido a la distribución de tensiones producida por el solvente; posteriormente viene la etapa de dispersión molecular que da paso al cambio en la estructura interna. Por consiguiente, para generar una degradación química por efecto negativo frente a un solvente es preciso tener en cuenta frente a que medio se produce esto con cada polímero, como se evidencia en la tabla 2. (Bustamante) (Ambiente, 2018)

Tabla 2.

Estabilidad de algunos polímeros en presencia de medios ácidos y alcalinos.

| Polímero | Medios ácidos | Medios alcalinos |
|------------------------------------|---------------|---------------------|
| Poli-etileno | + | + |
| Polipropileno | + | + |
| Poli-1-buteno | + | + |
| Poliisobuteno | + | + |
| Poliestireno | + | + |
| Poli-tetrafluoroetileno | + | + |
| Poli-trifluorocloroetileno | + | + |
| Poli-vinilfluoruro | + | + |
| Poli-vinilcloruro (sin platificar) | + | + |
| Poli-vinilcloruro (platificado) | - | - |
| Poli-metilmetacrilato | - | - |
| Poli-acrilonitrilo | - | - |
| Poli-oximetileno | - | - |
| Poli-sulfonas | - | - |
| Poli-amidas | - | - |
| Poli-carbonatos | - | - |
| Poli-uretanos | - | - |
| Fenol-formaldehídos (resinas) | + | - |
| Caucho natural | + | + |
| Caucho butilo | + | + |
| Poli-ésteres insaturados | + | - |
| + : satisfactoria | | - : insatisfactoria |

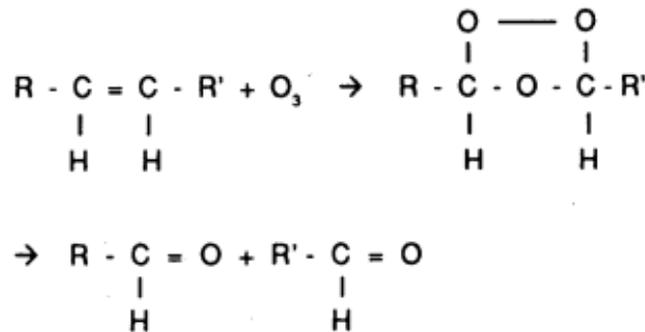
Nota. En la tabla se indica la estabilidad de los principales polímeros frente a los dos tipos de agentes solvolíticos. Tomado de La degradación de los plásticos. Revista Universidad Eafit.

Otro método con el que se puede dar la degradación química es por medio de la oxidación; este mecanismo se presenta cuando el polímero es atacado por oxígeno molecular; el proceso de oxidación se inicia con la presencia de radicales libres en el ambiente o en las impurezas del polímero, estos pueden ser iones metálicos tales como el cobre, el cobalto, el níquel o el

manganeso; de igual manera también se puede inducir la producción de estos radicales por medio de tensión mecánica, luz ultravioleta, radiación gamma, entre otros.; esto beneficia a la acción auto catalítica de la oxidación. Cuando la molécula de oxígeno ingresa en la cadena se presenta la reacción que se ve en la figura 7, como se ve evidencia en esta la cadena sufre de diferentes escisiones lo que con lleva a una reducción en su resistencia mecánica, en el peso molecular, en la capacidad de aislamiento y en la coloración. (Krasowska, Heimowska, & Rutkowska, 2015) (Bustamante) (Barrera, Rodriguez, Perilla, & Algecira, 2007)

Figura 7.

Reacciones de separación de cadena lateral



Nota. En la figura se evidencia las reacciones que se dan en el proceso de escisión de una cadena lateral cuando es inmerso el oxígeno en la molécula. Tomado de La degradación de los plásticos. Revista Universidad Eafit.

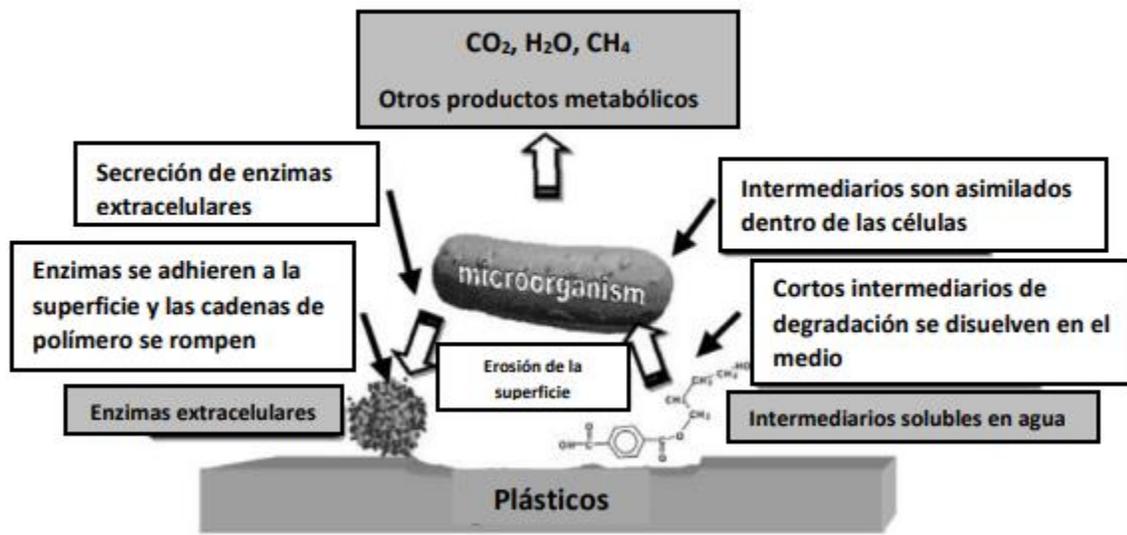
Otro mecanismo para degradar polímeros de manera química es por medio de la aplicación de gases contaminantes tales como el ozono (O3), el dióxido de nitrógeno (NO2) y el dióxido de azufre (SO2). El efecto de estos gases incrementa en presencia de luz ultravioleta y aire. El ozono afecta mayormente a las poliolefinas, en cambio el dióxido de nitrógeno afecta en su mayoría a las poliamidas y el poliuretano lineal y el dióxido de azufre ataca principalmente a los hidrocarburos insaturados.

3.5. Biológico

Un mecanismo de degradación alternativo que está en estudio es la degradación por agentes biológicos, tales como microorganismos. Esto funciona debido a que el microorganismo utiliza el carbono de las cadenas poliméricas como fuente de energía y calorífica. Dicho mecanismo se produce por medio de la liberación de enzimas extracelulares que rompen los enlaces del polímero en cuestión para liberar los diferentes grupos funcionales tales como se explica en la figura 8. (Arias, 2018)

Figura 8.

Mecanismo general de biodegradación de plásticos



Nota. En la figura se ilustra el proceso inicial de biodegradación de plástico junto con los productos adicionales que se generan con la ruptura de enlaces poliméricos. Tomado de Degradación de polietileno de baja densidad utilizando hongos. Pontificia Universidad Javeriana. (Aguirre, 2014)

En este tipo de degradación es necesario tener en cuenta factores externo para el buen desarrollo de los microorganismos, como la disponibilidad de agua, los minerales, la fuente de energía, oxígeno, pH y el uso de oxígeno. Pará dos de estos factores se han establecido rangos en los que el desarrollo de los microorganismos es más óptimo; para la temperatura es de 0°C a 70°C y para

el pH es de 5 a 8. Este mecanismo de deterioro de polímeros consta de 4 pasos el primero de ellos es conocido como la Bio deterioración, en el cual se modifican las propiedades físicas, mecánicas y químicas del polímero esto sucede cuando el microorganismo está creciendo dentro o en la superficie del material; el segundo paso es la bio fragmentación, en este ya se han liberado las enzimas por parte del microorganismo y estas van rompiendo enlaces y cadenas largas para formar oligómeros, dímeros o monómeros; el tercero es denominado asimilación, en este paso las moléculas que fueron separadas de la cadena principal son transportadas por el citoplasma para empezar a ser metabolizadas por el microorganismo y finalmente esta la mineralización en donde se finaliza la degradación de las moléculas y salen los subproductos del proceso, es decir, agua, dióxido de carbono, metano y nitrógeno. (Aguirre, 2014).

4. RESULTADOS

En base a lo que se expuso en el literal 5.5. del capítulo anterior se encuentran distintas alternativas para la degradación de materiales plásticos utilizando microorganismos; estas se diferencian en el polímero a degradar, microbio en cuestión y las condiciones ambientales que requiere para crecer y desarrollarse.

Una de estas alternativas que se ha venido estudiando es la degradación de polietileno de baja densidad a partir de 60 especies de bacterias marinas, para esto se utilizaron películas de polietileno de baja densidad secadas previamente durante la noche por 60°C, de igual manera se inocularon los matraces con 2ml de cultivo que previamente estaba con caldo marino, estos cultivos fueron ajustados con una densidad celular de 1.5×10^6 unidades formadoras de colonias. De estas 60 tres de las especies bacterianas fueron crecieron positivamente en la superficie del polietileno utilizando este polímero como única fuente de carbono; estas fueron la *Kocuria Palustris*, *Bacillus Pumilus* y la *Bacillus Subtilis*. En el primer caso se detectó una pérdida de peso de $1 \pm 0.033\%$, en el segundo de $1.5 \pm 0.038\%$ y en el último de $1.75 \pm 0.06\%$; el primer valor es el valor del peso seco medio; lo que prueba la degradación por solubilización. Otro factor relevante en este estudio de degradabilidad es la hidrofobicidad superficie de la bacteria y si esta es compatible con el polietileno, para el caso de las tres especies compatibles, dos de ellas la *Kocuria Palustris* y la *Bacillus Subtilis* tienen una superficie hidrofóbica por lo cual tienen un mayor crecimiento en el polietileno debido a que este polímero es hidrófobo; esta afinidad favorece mayor colonización por parte de la especie bacteriana en el polímero. Dicha actividad se identifica por medio de Deshidrogenasas, enzimas que aparecen con la actividad respiratoria y energética del microorganismo. (Harshvardhan & Jha, 2013)

La deshidrogenasa produce una serie de distintas reacciones químicas como oxidación, reducción, esterificación, hidrolisis, entre otras; Estas reacciones dan paso formación y desaparición de cetonas, ácidos y dobles enlaces terminales. (Harshvardhan & Jha, 2013) Otro método estudiado es la degradación de poliuretano expuesto durante 10 y 100 días a hongos endófitos, específicamente cuatro especies de *Pestalotiopsis* aisladas en Ecuador; Esta especie de hongo libera enzimas de la familia de las hidrolasas; es decir ureasas, proteasas y esterases, que al estar en presencia de agua provocan ruptura de enlaces y formación de enlaces nuevos. Para comprobar la degradación de este polímero en el estudio actual se implementó la espectrofotometría infrarroja

puesto que el espectro del poliuretano está en el rango de 4000 a 520 cm^{-1} , y es más sencillo determinar los cambios en los picos de absorbancia que representan un cambio en la estructura molecular del poliuretano.

Cuando ocurre la liberación de la exoenzima esterasa, esta es adsorbida por la superficie del polímero, lo que genera la hidrólisis en los enlaces éster, es decir la ruptura de este enlace; el producto de esta hidrólisis genera un alcohol y un ácido carboxílico, así cuando se presentan aumentos en diferentes áreas en la espectrofotometría (absorbancia 3600 y 2800 cm^{-1}) se evidencia el crecimiento y la actividad enzimática. Adicionalmente cuando el polímero es inducido en un medio acuoso se liberan grupos de isocianatos lo que genera una polimerización incompleta del poliuretano. (Bucheli, 2015)

Al igual que el primer estudio expuesto previamente también se ha analizado la degradación del polietileno de baja densidad por medio de hongos; en este se determinó que es más favorable para la degradación del polietileno someter este polímero a un pretratamiento para que así libere carbonilos que son más sencillos de metabolizar por microorganismos. uno de estos pretratamientos es la recristalización con ácido nítrico a 80°C, el segundo tipo de pretratamiento es la adición de sustancias oxo-degradables y la fototermodegradación esta debido a que induce el ciclo de autooxidación del polímero. Se realizó un primer estudio experimental de la degradación de polietileno de baja densidad con bolsas comerciales y el hongo *Aspergillus Japonicus*, por un periodo de 2 a 4 semanas, el resultado fue una degradación de 11,11% medido en términos de pérdida de peso medio. De igual manera se produjeron cambios en la superficie tal como la aparición de grietas y la disminución del peso molecular. Adicionalmente si a este proceso se le induce luz ultravioleta se producirá una mayor liberación del grupo carbonilo para así ser utilizado por el hongo. (Aguirre, 2014)

En estudios aislados realizados previamente se han estipulado algunas bacterias que poseen una acción biodegradante alta, algunas de ellas son las *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Brevibacillus* y la *Rhodococcus*. Las *Pseudomonas Putida* son bacterias capaces de procesar, integrar y reacciones en distintas condiciones ambientales; por lo cual tiene la capacidad de adaptarse a diferentes fuentes de carbono y así colonizar diversos espacios. Esta especie tienen un crecimiento favorable en un medio con un pH de 6,4 y en un rango de temperatura e 22°C y 37°C; tiene una alta efectividad para degradar polietileno debido a que posee la habilidad de secretar enzimas como la

gelatinasa, celulosa, catalasa, pectinasa y proteasa. Adicionalmente se han implementado estudios en los que se determinó su maleabilidad genética; esta fue utilizada para degradar el plástico (polietileno) en el relleno Cerro Patacón de Panamá; debido a las condiciones climáticas (humedad relativa de 67,4% y 73,0%), a la permeabilidad y a un pH ajustable, esta bacteria maneja un factor degradante del 75,3%. (Vertus, Ruiz, Henríquez, & Ortiz, 2017).

Se realizó un estudio de degradación microbiana de Poliestireno de baja densidad (LDPE), con cultivos incubados por 45 días, en los cuales se observó un aumento en la población bacteriana de $8,8 \times 10^6$ UFC/ml a $1,2 \times 10^8$ UFC/ml. Sin embargo, con este tiempo de incubación no genera pérdida de peso significativa al estar en contacto con el polímero por consiguiente se afirma que no degrada el plástico con esta cantidad de días de incubación. Por consiguiente, se realizaron las pruebas con 90 días de incubación, posteriormente se hacen pruebas y análisis de microscopía de fuerza atómica para ver las pérdidas de peso que sufrió; con *Aspergillus Nomius* fue una pérdida del 4,9 %, en cambio con *Streptomyces* la pérdida es de 5,2%. adicionalmente con este periodo de incubación se evidenció el desarrollo de grietas y ranuras en la superficie del polímero. Cabe aclarar que en este estudio las poblaciones microbianas que fueron utilizadas pasaron previamente por un proceso de enriquecimiento y que las poblaciones bacterianas con mejor resultado de degradación son de tipo bacilo gran positivo (pared celular más espesa). (Peña, 2017).

De igual manera se realizaron otros estudios para mirar el proceso de degradación de bolsas de polietileno de baja densidad a partir de bacterias tales como *Pseudomonas*, *Edwardsiella* y *Alcaligenes*. por medio de un biorreactor por 7 días. Se observó un incremento en la concentración celular de $936,4 \times 10^4$ a $62,500 \times 10^4$ células por mililitro, lo que se puede atribuir a una colonización por parte del microorganismo en el polímero y un desarrollo de su actividad metabólica. En este estudio se confirmó que las condiciones óptimas para que opere el biorreactor son un rango de pH de 6,4 a 8,3; un oxígeno disuelto de 5,64 a 6,6 mg/L y un rango de temperatura de 24°C a 30°C; utilizando una concentración inicial del microbio de 50mg/L, 100 mg/L; se evidenció una pérdida de peso de 4.2 mg y 4.6 mg respectivamente. (Azurin, 2011).

Se hace un estudio de degradación de polietileno de baja densidad (LPDE) por medio de hongos; se hizo un cultivo de una cepa de *Fusarium* durante 60 y 90 días en condiciones aerobias con las muestras del polímero, a partir de un análisis de microscopía electrónica de barrido se observó una rugosidad en la superficie del polímero, grietas, algunos agujeros con diámetros de 30 y 150 μm e

hifas integradas en la matriz polimérica además de un cambio en la coloración de la muestra por unas tonalidades violeta, lo que sugiere una actividad metabólica satisfactoria utilizando como sustrato y fuente de carbono el plástico en cuestión; Adicionalmente se registró una pérdida de peso de 0.99 % +- 0.11 % con 90 días de incubación y con 60 días de incubación se reportó una pérdida de peso de 1.19% +- 0.294 %; posterior al lavado de la muestra con hipoclorito de sodio debido a la masa adicional que queda resultante de las adherencias del material biológico y residuos de humedad. De igual manera se realiza un análisis de espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier con el fin de identificar los espectros característicos de la formación de nuevos grupos funcionales o la separación de los mismos. Con este se identificó la formación de enlaces del grupo metileno C-H₂. (Arias, 2018).

Como se explicó anteriormente se han realizado diferentes experimentos para determinar cómo degradar algunos polímeros, estos análisis prácticos se ilustran en la tabla 3 junto con sus condiciones, el polímero a degradar, el microbio utilizado y el mecanismo que se implementó para comprobar dicha actividad metabólica.

Tabla 3.

Estudios de degradación biológica de diferentes polímeros.

| Polimero | Microorganismo | incubacion | perdida de peso | Condiciones anexas | Referencia |
|-------------------------------|---|---------------|--|---|---|
| Polietileno de baja densidad | Bacterias <i>K. palustris M16,</i> <i>B. pumilus M27,</i> <i>B. subtilis H1584</i> | 14 días | 1+-0.33% 1.5+-0.038% 1.75+-0.06% | | (Harshvardhan & Jha, 2013) |
| Poliuretano | hongos endofitos | 10 y 100 días | | Espectroscopia infrarroja , medio acuoso | (Bucheli, 2015) |
| Polietileno de baja densidad | Hongo <i>Aspergillus Japonicus</i> | 2 a 4 semanas | 11,11 % | Pretratamiento de recristalizacion con acido nitrico a 80°C, oxo-degradacion y fototermodegradacion | (Aguirre, 2014) |
| Polietileno | Bacteria <i>Pseudomonas Putida</i> | | | pH de 6,4 , rango de temperatura a 22°C a 37°C | (Vertus, Ruiz, Henriquez, & Ortiz, 2017). |
| Poliestireno de baja densidad | Bacteria <i>Streptomyces</i> Hongo <i>Aspergillus Nomius</i> | 90 días | 5,2 % 4,9 % | enriquecimiento microbiano | (Peña, 2017). |

Tabla 3.

Continuación

| | | | | | |
|------------------------------|--|--------------------|--------------------------------------|--|----------------|
| Polietileno de baja densidad | Bacterias <i>Pseudomonas</i> , <i>Edwardsiella</i> y <i>Alcaligenes</i> | 7 días | 4.2 mg y 4.6 mg | Bioreactor con un rango de pH de 6,4 a 8,3 ,oxígeno disuelto de 5,64 mg/L a 6,6 mg/L y un rango de temperatura de 24°C a 30°C. | (Azurin, 2011) |
| Polietileno de baja densidad | Hongo <i>Fusarium</i> | 60 días 90 días | 1.19% +- 0.294 % 0.99 % +- 0.11 % | Condiciones Aerobias, Analisis de microscopia electronica | (Arias, 2018). |

Nota. En la tabla se ven siete mecanismos de degradación estudiados con algunas diferencias entre ellas, se evidencian los resultados obtenidos.

En 5 de los 7 estudios realizados se degrada polietileno debido a que es uno de los polímeros más sencillo y es uno de los materiales con mayores usos industriales, tales como la producción de películas, laminas multicapa, botellas, bolsas, tuberías, piezas diversas, cables, tubos, envases, entre otros. Este es un polímero que tiene como monómero el etileno por lo cual se le considera una molécula esencialmente pura. Este polímero se puede encontrar en diferentes pesos moleculares lo cual determina el uso para el que será implementado. Debido a su amplitud de aplicaciones industriales también es el compuesto que se encuentra con mayor frecuencia en los desperdicios de productos plásticos, para el año de 2012 en solo latino América se consumieron 31,5 Kg de envases por habitante por año, (Castells, 2012) por consiguiente es uno de los polímeros al que se le han implementado más estudios con diferentes especies de hongos y bacterias para acelerar su degradación como se evidencia en la tabla 3; estas especies se eligen teniendo en consideración la segregación de enzimas capaces de romper sus enlaces. (Cardona, J. Lavernia , & C. Alcerro, 2010) Debido a que las enzimas son consideradas proteínas plegadas biocatalizadoras del proceso metabólico, son termoestables y poseen alta estabilidad en ambientes alcalinos y ácidos. Estas proteínas generan un sitio activo que identifica el sustrato, lo atrae y en este espacio ocurre la reacción química, es decir, el rompimiento de los enlaces pertinentes para que las moléculas individuales ingresen a la célula y comience su proceso metabólico. Por consiguiente, no todas las enzimas catalizan o generan la misma reacción, el nombre de esta

proteína define que sustrato cataliza o que reacción química; por ejemplo, las hidrolasas son las catalizadoras de reacciones de hidrolisis, por lo cual pueden romper enlaces peptídicos, esterres o glicosídicos. (Ramirez & Ayala Aceves, 2014). (Parrilla, 2020)

La hidrolasa, la esterasa, la lipasa, la mono oxidasas y di oxidasas son algunas de las enzimas que poseen una alta capacidad para degradar polietileno debido al sustrato y la reacción a las que son afines. Estas son generadas por los microbios que más implementación tienen en los análisis de degradación como la bacteria *Streptomyces* y *la Pseudomonas*.y las especies de hongo *Aspergillus* y *Fusarium*. (Parrilla, 2020).

4. CONCLUSIONES

En conclusión, en la actualidad el uso de los productos plásticos se ha incrementado considerablemente al igual que sus desechos, por lo cual se han incrementado las medidas para controlar esto, con campañas contra el uso de los plásticos de un solo uso; la implementación del reciclaje en el proceso productivo, el aumento en la producción de bioplásticos y con estudios para la degradación de estos implementando mecanismos amigables con el medio ambiente. Como se evidencia en el presente trabajo uno de los medios que se está estudiando es por medio de microorganismos; en específico bacterias y hongos puesto que secretan enzimas capaces de romper los enlaces que unen los polímeros, se afirma que un pretratamiento en el polímero favorece la degradación y el tiempo de la misma.

De igual manera se logró describir los mecanismos actuales con los que se degradan los productos plásticos sin implementar un agente biológico, junto con la explicación de los mismos. De igual manera se afirma que es posible combinar tipos de degradación con el fin de obtener un mejor resultado sin embargo falta estipular si estos mecanismos logran una degradación completa o alcanzan una estabilidad en algún punto; Teniendo en consideración la degradación que se origina por la exposición al medio ambiente en un tiempo prolongado.

Para finalizar se analizaron los distintos métodos que se implementan para degradar plásticos utilizando microorganismos y para verificar la pérdida de sus propiedades internas. Se concluye que algunas especies de bacterias como *Pseudomonas*, *Streptomyces*, entre otras y especies de hongos como la *Aspergillus* y *Fusarium* son capaces de utilizar las estructuras poliméricas como única fuente de carbono y minerales para su proceso metabólico y así crecer en la superficie de estos rompiendo sus enlaces.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar mas pruebas con especies bacterianas y hongos aumentando el periodo de incubación, considerando los tipos de enzimas que secretan y adicionando en algunos casos un pretratamiento de la muestra polimérica para observar la medida de tiempo exacta que requiere para su completa degradación.

Tener en cuenta más métodos para comprobar la degradación del material además de la perdida de peso tal como la espectroscopia infra roja, que determina los cambios estructurales del polímero y así tener en cuenta que productos secundarios se originaran en el proceso de degradación.

Implementar las condiciones manejadas en caja de Petri en un Biorreactor para analizar su viabilidad en mayor escala y de igual manera suplir con la necesidad de limpieza de residuos existente en los ecosistemas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, L. M. (2014). Degradacion de polietileno de baja densidad utilizando hongos. *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Ambiente, O. M. (2018). *Plasticos de un solo uso* . Technology for Environment.
- Arias, L. M. (2018). *Evaluacion de la degradacion de polietileno de baja densidad mediada por diferentes especies de hongos*. Quito: Universidad San francisco de quito .
- Azurin, O. C. (2011). *Biodegradacion bacteriana de polietileno de baja densidad bajo condiciones controladas en biorreactores AIR LIF*. Peru : Universidad Nacional agraria de la selva .
- Barrera, J., Rodriguez, J., Perilla, J., & Algecira, N. (2007). Estudio de la degradación térmica de poli(alcohol vinílico) mediante termogravimetría y termogravimetría diferencial. *Ingenieria e Investigacion*.
- Bucheli, L. A. (2015). *Estudios en degradacion de poliuretano con hongos endofitos*.
- Bustamante, B. P. (s.f.). La degradacion de los plasticos . *Revista universidad Eafit*.
- Cardona, D., J. Lavernia , C., & C. Alcerro, J. (2010). Polietileno . *Orthopaedic Institute at Mercy Hospital* , 6.
- Carlini, G. (2018). Advancing the international regulation of plastics pollution beyond the United Nations Environment Assembly rsolution on marine litter and microplastics. *Reciel*, 234-244.
- Castells, E. X. (2012). Los plasticos residualers y sus posibilidades de valorizacion . *Editorial Diaz de Santos*.
- Cerrato, R. F., & Alarcon , A. (2007). *Microbiologia agricola: hongos,bacterias, micro y macrofauna, control biologico y planta-microorganismo*. mexico: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- Crawford, C. B. (2017). The modern history of plastics . *Microplastic Pollutants*, 19.
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). *The Contemporary history of plastics* .
- Garcia, S. (2009). Referencias historicas y evolucion de los plasticos. *Revista iberoamericana de polimeros* , 71-80.
- H., V. R., & San Martin, M. (2009). Obtencion de polimeros biodegradables de fuentes no convencionales mezclados con polimeros sinteticos. .
- Harshvardhan, K., & Jha, B. (2013). Biodegradation of low-density polyethylene by marine bacteria from pelagic waters, Arabian Sea, India . *Marine Pollution Bulletin*, 7.

- Jefferson, M. (2019). Whither Plastics?-Petrochemicals, plastics and sustainability in a garbage-riddled world . *Energy Research & Social Science*, 8.
- Jia, H., Weng, Y., & Zhao, Y. (2020). *Degradation of poly(butylene adipate-co-terephthalate) by stentrophomonas*.
- Krasowska, K., Heimowska, A., & Rutkowska, M. (2015). Environmental degradability of polyurethanes.
- Olazabal, G. R., Perez Sanchez , A., Gonzalez Suarez , E., Perez Sanchez, E. J., & Alvarez Laugart, E. (2015). La microbiologia industrial como herramienta efectiva en la obtencion de productos de alta demanda . *Universidad de Camaguey, Universidad central de las villas , Empresa de servicios Ingenieros Hidraulicos Camaguey*.
- Ortiz, O. L., Rosas Arango , S. M., & Gonzalez Devia , J. L. (2019). Aplicaciones biotecnologicas de los microorganismos. *NOVA, Unidad de investigacion Universidad Santo Tomas* , 129-163.
- Parrilla, J. P. (2020). Biodegradacion de tereftalato de polietileno: microorganismos, enzimas y perspectivas futuras . *Universidad de la laguna*.
- Pathak, D. V., Tikko, A., & Goyal, S. (2016). *Introductory Microbiology*. New Delhi: Data Publishing House.
- Peña, M. E. (2017). *Estudio Preliminar de la degradacion de plasticos por poblaciones bacterianas presentes en suelo del complejo ambiental de arico* . España : Universidad de la laguna.
- Perez, M. A. (2018). Evaluacion del comportamiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium spp* en la degradacion de bioplastico elaborado a partir de almidon de cascara de platano. *Escuela superior Politecnica de Chimborazo*.
- Ramirez, J. R., & Ayala Aceves, M. (2014). Enzimas :¿ Que son y como funcionan ? *Revista digital Universidad Nacional Autonoma de Mexico*.
- Rodriguez, R., Troya, J., & Calvache, D. (2018). Sintesis de un polimero biodegradable como alternativa a los polimeros sinteticos. *In congreso de ciencia y tecnologia ESPE*.
- Solorzano, M. J. (2018). *Bacterias aisladas con potencial de degradacion de polietileno y sus efectos en suelos contaminados*.
- Tech-Education, S. (21 de octubre de 2018). *youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Lolx84QxuXQ>
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introduccion a la microbiologia* . Medica Panamericana.
- Troya, J., Rodriguez, R., & Calvache, D. (2017). Sintesis de un polimero biodegradable, como alternativa a los polimeros sinteticos.

Valero, J. R. (2020). *Part1: Plastics*. Polymers.

Valero, J. R. (2020). *Plastics : Chapter 1: Polymers* . Idaho.

Vertus, D., Ruiz, M., Henriquez, J., & Ortiz, V. (2017). Biodegradacion bacteriana de polietileno y propuesta de aplicacion en cerro patacon . *Revista de Iniciacion Cientifica* , 6.