

**ANÁLISIS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA INDUSTRIA POLIMÉRICA EN
COLOMBIA**

DIEGO ANDRÉS ÁNGEL UMBARILA

**Proyecto integral de grado para optar el título de
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ORIENTADOR

HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA

INGENIERO QUÍMICO

MsC INGENIERÍA QUÍMICA

PhD ENERGÍAS RENOVABLES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

MSc Naliny Guerra Prieto

Directora de la Especialización en Gestión Ambiental

MSc Nubia Liliana Becerra Ospina

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 documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
1.OBJETIVOS	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	11
2.GENERALIDADES DE LOS POLIMEROS	12
2.1Tipos de cadenas moleculares	12
2.2 Comportamiento térmico	13
2.3Temperaturas de transición	14
2.4 Propiedades de los polímeros	14
2.5 Productos	15
2.6Proceso de degradación	15
2.6.1 <i>Degradación térmica</i>	15
2.6.2 <i>Degradación por radiación</i>	16
2.6.3 <i>Degradación mecánica</i>	17
2.6.4 <i>Degradación química</i>	17
2.6.5 <i>Biodegradación</i>	17
2.6.6 <i>Tiempo de degradación</i>	18
2.7Tipos de contaminación	18
2.7.1 <i>Acumulación de microplásticos</i>	18
2.7.2 <i>Compuestos químicos tóxicos</i>	19
2.7.3 <i>Bioacumulación por ingesta</i>	19
2.7.4 <i>Generación de gases contaminantes</i>	20
2.7.5 <i>Contaminación visual</i>	20
2.8Índices de producción y contaminación de la industria	21
2.8.1 <i>Distribución de producción mundial</i>	21
2.8.2 <i>Ranking de producción por empresas</i>	23
2.8.3 <i>Top países contaminantes</i>	24
2.8.4 <i>Indicadores de la ONU</i>	26
2.8.5 <i>Indicadores Colombia</i>	27
3. OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE RELACIONADOS	29
3.1Pilares	31
3.2Metodología del desarrollo sostenible en la industria	32

3.2.1 <i>Biodegradación</i>	32
3.2.2 <i>Plástico Biodegradable</i>	33
3.2.3 <i>Tipos de plásticos biodegradables</i>	33
3.2.4 <i>Compostaje</i>	37
3.2.5 <i>Polímeros Fotodegradables</i>	38
3.2.6 <i>Polímeros solubles en agua</i>	39
3.2.7 <i>Polímeros Oxodegradables</i>	39
3.2.8 <i>La regla de las 3R</i>	39
3.2.9 <i>Las 3R de los plásticos</i>	40
3.3 <i>Estrategias a nivel mundial y nacional</i>	41
3.3.1 <i>Polímeros autorreparables</i>	42
3.3.2 <i>Caucho natural (NR)</i>	42
3.3.3 <i>Procesamiento de plásticos en la industria automotriz</i>	43
3.3.4 <i>Aprovechamiento de llantas usadas</i>	43
3.3.5 <i>Proyectos en base a botellas plásticas</i>	44
3.3.6 <i>Impresión 3D a partir de residuos plásticos</i>	46
3.3.7 <i>Máquina dispensadora de comida para mascotas</i>	47
3.3.8 <i>Atrapaplásticos en el océano</i>	47
3.3.9 <i>Economía circular para plásticos</i>	47
3.3.10 <i>Neutralidad Climática</i>	48
3.3.11 <i>Intervención de los plásticos en los ODS</i>	49
3.3.12 <i>Intervención en los plásticos de un solo uso</i>	50
3.3.13 <i>Foro LR, plástico y sostenibilidad</i>	50
3.3.14 <i>Empresa Engel</i>	51
3.3.15 <i>Energía renovable de plásticos</i>	52
3.3.16 <i>Proyecto Zero Plastics</i>	52
3.3.17 <i>Trust, sostenibilidad a futuro</i>	53
4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	54
4.1 Ventajas	54
4.2 Desventajas	55
4.3 Criterios y puntos clave para el éxito	57
4.3.1 <i>Divulgación de la información</i>	57
4.3.2 <i>Educación ambiental</i>	57
4.3.3 <i>Valorización de los residuos</i>	58
4.3.4 <i>Separación en la fuente</i>	58

4.3.5 <i>Evitar productos desechables</i>	59
4.3.6 <i>Mejoras en los procesos de compostaje</i>	59
4.3.7 <i>Reciclaje completo</i>	60
4.3.8 <i>Materiales de origen natural</i>	60
4.3.9 <i>Reducción y eliminación</i>	61
4.3.10 <i>Análisis de ciclo de vida</i>	61
5. ANALISIS DE RESULTADOS	64
6.CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	77

RESUMEN

La industria polimérica se ha ido expandiendo por el mundo a lo largo de las últimas décadas, al ser un campo que permite el desarrollo y la innovación de herramientas, productos y mecanismos, moldeando directamente elementos tan versátiles y polifacéticos que favorecen la vida cotidiana del ser humano, a tal punto que se puede evidenciar como la sociedad está plagada actualmente de elementos plásticos a niveles nunca antes vistos.

La contaminación que se ha derivado de esta sobreproducción a nivel mundial, radica no solo en la larga vida de un plástico sino en los agentes y capacidad de contaminación que liberan los mismos durante su proceso degradativo. Es aquí donde entra la metodología ampliamente usada hoy en día para diferentes sectores de la sociedad como lo es la visión e implementación del desarrollo sostenible.

Mediante la inserción de los ODS, los pilares y las estrategias de sostenibilidad se busca analizar la cooperación que puede brindarse a una industria tan arraigada como lo es la industria polimérica para lograr una reducción, manejo y control de sus impactos negativos, que permita el cuidado del entorno actual y que favorezca el desarrollo y supervivencia de las generaciones futuras.

Se procederá a definir las propiedades y generalidades de los polímeros, para dar paso a la contaminación generada. Se discutirán las metodologías y estrategias desarrolladas para el cuidado medioambiental, el impacto que se puede generar, para finalizar con los puntos favorables y desfavorables que recaen en el acople del desarrollo sostenible en la industria polimérica en Colombia y el mundo.

En base a la información anterior, el presente texto expondrá metodologías, proyectos y estrategias trabajadas mayoritariamente en el territorio colombiano para combatir la contaminación por la industria polimérica a partir de una visión ligada y adaptada al desarrollo sostenible y los pilares que lo acompañan.

Palabras claves: Desarrollo sostenible, industria polimérica, contaminación plástica.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad y en especial el desarrollo sostenible son conceptos relativamente nuevos en el ámbito global, dado que se reconocieron en el siglo pasado para el año 1987, dando la definición consiguiente: *“aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias”*. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe –CEPAL-, s.f.)

En la actualidad se integran al campo del desarrollo sostenible factores de índole social, económico, cultural, político y ecológico (Naciones Unidas, 2015). Abordando de esta manera un horizonte espacio temporal de carácter integracional, ya que, permite asociar tanto escalas menores como lo son industrias emergentes y a la vez abordar mercados globales, países tercermundistas o potencias mundiales.

Una problemática, presente en la actualidad, es la creciente contaminación polimérica o contaminación por plásticos, ya que a nivel molecular presentan enlaces de tipo monómero que, al darse la unión de varios, forman una estructura capaz de perdurar por miles de años, además dan la liberación de contaminantes al medio ambiente, generando daño en los ecosistemas y aportando al calentamiento global. Es allí donde el desarrollo sostenible jugara un papel fundamental para la adecuada estructuración y manejo de este sector industrial polimérico, claro está, que se enfatiza y limita el presente texto a la región netamente de Colombia como base fundamental de la investigación.

Como reflejo de la problemática que se afronta en la actualidad por la producción y consumo de plásticos de un solo uso derivados de la industria petrolera y no biodegradables, se sabe que esto es un factor importante en el cambio climático; según cálculos, la producción e incineración de plásticos pueden provocar la emisión de 56.000 millones de toneladas de equivalente de dióxido de carbono hasta el año 2050, y de igual manera, el 10 al 30% de lo que se puede llegar a gastar en presupuesto de carbono. Por otra parte, se debe trabajar en la reducción de la contaminación asociada a microplásticos por su alta contaminación, según estudios cada segundo se arroja más de 200 kilos de plásticos a océanos y mares en todo el mundo, de este total el 15% se queda

flotando generando la formación de las conocidas islas flotantes, y en proporción global se identifica que cerca del 50% corresponde a plásticos de un solo uso. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD, 2021)

Por otra parte, es de importancia denotar que alrededor de 1,5 millones de aves, ballenas, tortugas y peces mueren debido a los desechos plásticos arrojados en los diferentes ecosistemas, lo cual se puede relacionar también a la ingesta de los mismos, ya que, como señala Laurence Maurice del IRD de Francia, en la zona del pacifico Norte, se calcula que el 30% de los peces han ingerido plástico en su ciclo de vida. (El País, 2014)

Es así, que este documento tiene como propósito mostrar la interacción y manejo que puede proporcionar el desarrollo sostenible de manera teórica sobre una industria tan arraigada en la sociedad como lo es la industria de polímeros, permitiendo no solo una disminución en la contaminación del sector tratado, sino también una reestructuración documental para las generaciones futuras.

El desarrollo de este documento se basó en la búsqueda de información por medios confiables presentes en bases de datos y conglomerados científicos actuales, así mismo se basó la recopilación de información en textos guía y libros líderes en la temática de desarrollo sostenible, industria de polímeros en Colombia y manejo adecuado tanto en producción y disposición final del sector polimérico.

1.OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Analizar la metodología de evaluación y planeación para la implementación del desarrollo sostenible de la industria polimérica en Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las cantidades y tipos de contaminación generada a partir de la industria polimérica
- Describir estrategias aplicativas que se han desarrollado a nivel mundial y a nivel nacional sobre el desarrollo sostenible en la industria de polímeros
- Establecer los criterios y puntos clave que permitieron llevar a un desenlace exitoso las metodologías y estrategias del desarrollo sostenible en la industria polimérica

2. GENERALIDADES DE LOS POLIMEROS

Como apertura del presente capítulo, se define el término polímero como: “un compuesto constituido por grandes moléculas, obtenido a partir de la unión de moléculas más pequeñas denominadas monómeros” (Polímeros: Generalidades y tendencias de investigación Colombia, 2019). De igual manera, podemos remitirnos a la definición de los autores del libro *Polymer Science*, Peacock y Calhoun que dicen lo siguiente: “Los polímeros son considerados macromoléculas debido a su elevada masa molecular y la presencia de gran número de átomos” (Peacock y Calhoun, 2006).

Es así, que los polímeros se pueden clasificar inicialmente en dos grandes grupos respecto a su forma de obtención, ya sea polímeros de carácter natural o polímeros sintéticos. Los polímeros naturales como bien lo indica su nombre, son aquellos que se encuentran directamente en la naturaleza, ejemplos de estos serían las resinas naturales obtenidas de árboles y plantas, la celulosa extraída en un 90% de la madera, el almidón que se obtiene mayoritariamente de cereales como el maíz, el trigo y el arroz; o el mismo látex natural con procedencia del *Hevea Brasiliensis*, conocido también como árbol de caucho, y finalizando con las proteínas. Respecto a los polímeros sintéticos, son aquellos que el hombre ha creado a partir de compuestos como el petróleo, el carbón, el gas natural, entre otros. Ejemplos de estos materiales sintéticos son: el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), polietileno (PE) que a su vez se clasificara en los de alta o baja densidad, el polimetilmetacrilato (PMMA), el polipropileno (PP), el politereftalato de etileno (PET), el poliuretano (PU), etc.

2.1 Tipos de cadenas moleculares

Una de las características relevantes para dar subdivisiones a la variedad de polímeros, son los tipos de cadenas moleculares, como se expone en la Figura 1 se pueden diferenciar los tipos de cadenas moleculares conocidas, asociando así en primer lugar a) como una disposición lineal, b) como una estructura ramificada por sus salientes en forma de raíz o rama y finalmente c) como la denominada disposición entrecruzada ya que se logra la unión intermolecular de las cadenas.

Figura 1

Tipos de cadenas moleculares



Nota. Esta figura muestra “ejemplo de diferentes tipos de cadenas moleculares a) lineales, b) ramificadas, c) entrecruzadas”. Tomado de. Gutiérrez T., Chito D. y Ochoa G., (2019) Polímeros: Generalidades y tendencias de investigación en Colombia. Editorial Universidad del Cauca. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=XoewDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=generalidades+de+los+polimeros&ots=PqRJJXhnQC&sig=LP6XbDzdQQIuUAnPnkGYbVlgq_Y#v=onepage&q&f=false

El tipo de estructura que llegue a adoptar la cadena del polímero en cuestión influirá directamente sobre las propiedades finales que presentara el plástico. Los polímeros de cadena lineal, es un arreglo de átomos ordenados en una larga cadena, denominada por su relevancia como cadena principal, no tiene más ramificaciones que los grupos colgantes asociados netamente al monómero. Mientras que los polímeros que presentan cadena ramificada, suelen caracterizarse por poseer cadenas laterales que se enlazan a otras cadenas alternas. Este tipo de enlaces brindan al polímero mayor compacidad, ya que en su mayoría son termofijos.

2.2 Comportamiento térmico

De acuerdo al comportamiento que presentan los polímeros frente a la temperatura se pueden clasificar en polímeros termoplásticos y polímeros termoestables.

Polímeros termoplásticos: Este tipo de polímeros, tienen como característica esencial que se pueden ablandar y fundir consecutivamente sin cambios representativos en su composición, es decir, al estar bajo la acción del calor, se vuelven fluidos, y al aplicar una reducción en la temperatura pasan nuevamente a presentar propiedades de rigidez y fase sólida. Por este motivo, son muy usados en la industria, ya que, al contar con la posibilidad de ser moldeados varias

veces, favorecerá las condiciones de reciclabilidad; se suelen usar mayoritariamente como envases y elementos de embalaje.

Polímeros termoestables: También conocidos como polímeros termofijos o termo rígidos, son polímeros no deformables que no se llegan a reblandecer ni fluir por la acción de altas temperaturas, en base a esto, no se pueden moldear repetidamente y representan una dificultad en cuanto a su reciclado; se suelen usar mayoritariamente como poliuretanos, amino resinas, resinas epoxi o resinas fenólicas. Las ventajas que presentan este tipo de polímeros son: buen aislante térmico, bajo peso, resistencia a la fluencia, alta rigidez y alta estabilidad térmica.

2.3 Temperaturas de transición

Cuando se somete a ciertas temperaturas altas, los polímeros pueden llegar a presentar cambios tanto en sus propiedades mecánicas como en sus propiedades físicas, ante esto se incluyen las definiciones de temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión (shackelford, 2005)

Temperatura de transición vítrea (T_g): En esta temperatura el polímero cambia y deja de presentar un comportamiento duro y quebradizo, para adoptar un aspecto más blando y flexible; se suele ver favorecido por el volumen libre que está presente en el polímero. Principalmente se suele identificar en los polímeros amorfos.

Temperatura de fusión (T_m): Temperatura en la cual la estructura de las zonas cristalinas u ordenadas de los polímeros llegan a la etapa de fundición. Principalmente se suele ver en los polímeros semicristalinos. (shackelford, 2005)

2.4 Propiedades de los polímeros

Las propiedades físicas de los polímeros al ser influenciadas por fuerzas intermoleculares y la estructura interna, podrán variar dependiendo del tipo de monómero, síntesis de polimerización y demás condiciones específicas en la cadena química y de producción, sin embargo, de manera general se pueden identificar las siguientes propiedades:

- Notable plasticidad, elasticidad y resistencia mecánica

- Poco reactivos ante ácidos y bases
- Alta resistividad eléctrica
- Estructura generalmente amorfa
- Pueden llegar a ser duros y resistentes o por el contrario presentar características como la flexión, resistentes a la tensión y muy inertes

2.5 Productos

Entre los productos de mayor uso por parte de la población actual que se ligan a la industria de polímeros se encuentran: las llantas de los automóviles, bolsas de todo tipo, envases, contenedores de bebidas y detergentes, bandejas, tapas de botellas, juguetes, tuberías, mangueras, suelas de zapatos, cubiertos plásticos que presentan un auge por la presente emergencia sanitaria del Covid-19, botellas y cajas.

2.6 Proceso de degradación

Para poder introducir los diferentes procesos y tiempos en los que un polímero se degrada, se presenta la siguiente definición: “Degradación es cualquier cambio indeseable en las propiedades que ocurre después de que el material ha sido puesto en servicio. En el caso de los polímeros la degradación puede afectarlos física, química y(o) mecánicamente” (Posada, 2012)

La interacción que un polímero presenta con el entorno, puede llegar a alterarlo de distintas maneras, dando inicio al proceso de degradación bajo el cual se pueden analizar los siguientes efectos: Degradación térmica, degradación por radiación, degradación mecánica, degradación química y finalmente biodegradación. Cabe aclarar que estos factores degradativos no trabajan de forma individual, sino que todas en conjunto van interactuando con el polímero, para que con el paso de los años se establezca el largo camino a su degradación parcial o total durante su ciclo de vida.

2.6.1 Degradación térmica

Los polímeros al estar constituidos por macromoléculas orgánicas, presentan un límite a las temperaturas que pueden estar expuestos, es así que como limitante, en casos generales, se suelen establecer temperaturas que rondan entre los 100 y 200°C y para casos especiales como lo

son los polímeros aromáticos carbocíclicos, la descomposición dará inicio en el rango de 450 a 550°C, más aún, según investigaciones, las diaminas aromáticas como la pirrona bajo la ausencia de oxígeno logra un máximo de 600°C para que dé comienzo su descomposición. (Posada, 2012)

Lo que ocurre una vez se presentan estas temperaturas, es que las moléculas se empiezan a descomponer en fragmentos pequeños, dando paso a radicales libres, debido a que las uniones covalentes son vencidas por la baja resistencia al calor; de forma general la descomposición genera que el material se vuelva frágil al perder sus plastificantes, lo que equivale en la pérdida de grupos laterales, entrecruzamientos o menor estabilidad que la pactada inicialmente.

2.6.2 Degradación por radiación

La radiación es uno de los factores que en mayor medida afecta las sustancias orgánicas, en el caso de los polímeros se logran identificar varios tipos de radiación como las radiaciones de alta energía, luz visible y ultravioleta, acompañadas por aspectos ligados como lo son la foto degradación, absorción de luz y degradación fotolítica.

Al estar expuestos a altas energías de radiación, los polímeros experimentan un proceso que da como resultado el entrecruzamiento intermolecular y la escisión irreversible que se define como la fragmentación de las moléculas que componen la cadena. La radiación de alta energía da paso al inicio de la autooxidación, es decir, la presencia de oxígeno en conjunto con la radiación ionizante llega a ser muy dañino y degradativo para los polímeros. (Posada,2012)

Cuando se habla de fotodegradación, se hace referencia a la irradiación de luz visible o ultravioleta; esta premisa permite integrar el hecho de que la luz solar tiene en su espectro una porción de luz UV con rangos entre 290 y 3000nm, que porcentualmente se dividen en 10% UV, 40% infrarroja y 50% visible. En relación con los polímeros, se sabe que los grupos carbonilos tienen máximo de absorción de onda entre 200 y 300 nm, lo cual implica que un pequeño número de polímeros logra absorber la luz solar, dando paso a daños foto reactivos como la decoloración, fragilidad, generación de grupos no saturados y su continua descomposición. (Posada, 2012)

2.6.3 Degradación mecánica

Este tipo de degradación, se basa en los efectos de índole macroscópica que conllevan a la fractura y deformación del material al aplicar una fuerza, comúnmente la ruptura de los enlaces ocurre cuando se concentra suficiente energía en un segmento macromolecular generando tensiones internas. Entre los procesos que imponen tensión y logran deformaciones se encuentran: el estirado, corte, taladrado, serruchado; incluyendo las fuerzas de tracción o cizalladura. Además de los aspectos mencionados anteriormente, también se pueden exponer los efectos mecánicos inducidos por el ultrasonido y las temperaturas criogénicas, que producen respectivamente cavitación por las ondas de choque y escisión en la cadena principal por el cambio de densidad durante el enfriamiento.

2.6.4 Degradación química

Como su nombre lo indica, se refiere a procesos inducidos por reactivos químicos o elementos que entren en contacto con el polímero, ya que determinados polímeros pueden llegar a ser susceptibles a ataques por sustancias químicas agresivas, estos en general suelen ser polímeros vitreos sin eslabonamiento cruzado y los polares. Una vez el disolvente ataca por contacto, se comienza el proceso de desintegración de la estructura o armazón básico (cadena larga), y si el líquido tiene solubilidad limitada en el polímero ocasionara cambios dimensionales y susceptibilidad a hinchamiento de manera que lo comienza a disolver.

De igual manera, se puede presentar la oxidación o autooxidación; para que dé comienzo está reacción debe haber un mecanismo que inicie la producción de radicales libres, métodos que se ligan directamente a la degradación por radiación y que se puede ver favorecida si en el polímero se encuentran impurezas o presencia de ciertos compuestos como trazas de metales catalizando la oxidación, para finalmente introducir grupos que contengan oxígeno a lo largo de la cadena, deteriorando las propiedades físicas, ejemplo de ellos será la disminución del peso molecular y la decoloración.

2.6.5 Biodegradación

Los polímeros sintéticos suelen ser sensibles a la degradación por microbios, estos microorganismos pueden ser hongos, bacterias y actinomicetos que se encuentran en la tierra y

que bajo ciertas condiciones pueden degradar poco a poco poliésteres, poliuretanos y poliamidas. Entonces la biodegradación, se refiere a la asimilación de los polímeros por organismos vivos. De igual manera se puede incluir el termino de biodegradabilidad y plásticos biodegradables que serán tratados en capítulos posteriores de este mismo texto.

2.6.6Tiempo de degradación

Los polímeros y la industria de plásticos en sí, es uno de los enemigos publico ambientales más arraigados y notorios hoy en día, sus residuos y desechos se encuentran tanto en calles, rellenos, escuelas, casas y cualquier ecosistema que se pueda imaginar; la razón de esta grave situación radica en los extensos tiempos para su degradación ya que no solo se debe hablar de años o décadas, sino que existen plásticos con un ciclo de vida expresado en más de 500 años. (El Tiempo, 2019)

Según datos recolectados por la fundación Aquae, las bolsas de plástico fabricadas con polietileno de baja densidad, tienen un estimado de 150 años para descomponerse, y las botellas de plástico que permanezcan enterradas alcanzarán los 1000 años para su completa degradación. Los vasos y platos plásticos rondan los 50 años, los globos de fiestas un total de 60 meses, y los mecheros un siglo para descomponerse. Como ejemplos finales se puede decir, que los cubiertos plásticos tardan hasta 400 años y elementos que todos usamos como las suelas de los zapatos entre 10 y 50 años dependiendo de su composición. (Aquae,2020)

2.7Tipos de contaminación

2.7.1 Acumulación de microplásticos

Los plásticos al tener una degradación tan lenta, ya que se pueden presentar los casos extremos que van desde el año de descomposición para orgánicos o más de 1000 años para sintéticos, ocasiona que a medida que avanza su descomposición, va generando partículas de plástico mucho más pequeñas que se desprenden de la estructura global, estas pequeñas partículas a pesar de no ser notorias, se van acumulando en los diferentes ecosistemas.

Según estudios recientes, se dice que estos “microplásticos” ya que llegan a medir menos de 5 milímetros, tienen un origen desconocido posiblemente proveniente de plásticos de tamaño

superior, se han venido acumulando con el paso de los años en mares, afectando la vida submarina en primera instancia. De igual manera, en la arena de playas y estuarios se encuentra con abundancia microfragmentos de polímeros sintéticos como lo son poliésteres, poliamidas, acrílicos, entre otros. Las investigaciones, también revelan valores con intervalos de 3 kg/km² hasta 30 kg/km² en cuanto a la presencia de estos plásticos en los mares, que irá en aumento multiplicándose por diez cada 2 o 3 años. (Palou, 2021)

2.7.2 Compuestos químicos tóxicos

Los polímeros derivados del petróleo, pueden llegar a estar constituidos en un 50% de su peso por compuestos químicos. Es así, que existen más de 3000 sustancias químicas ligadas a la industria de plásticos y más de 60 de ellas se catalogan como sustancias de alto riesgo para la salud humana, ya que son persistentes, tóxicas y bioacumulables. Ejemplos de esto pueden ser los diferentes aditivos, como bisfenoles, ftalatos, retardantes de llama y metales pesados. Además de los elementos expuestos anteriormente, también se identifican dentro de esta categoría ciertos tipos de compuestos sumamente contaminantes como los bifenilos policlorados, los nonifenoles y el diclorodifenil dicloroetano, que al no presentar mayor solubilidad en agua se adhieren y se acumulan en plásticos, funcionando como transportadores de contaminantes en los ecosistemas marítimos. (Eljarrat, 2019)

2.7.3 Bioacumulación por ingesta

Como se expuso en la sección de microplásticos, al ser elementos tan pequeños, los organismos marinos planctónicos, animales filtradores y los que se alimentan de detritos, ingieren los microplásticos y acumulan los compuestos químicos asociados en sus tejidos, debido a que estos compuestos no son factibles de metabolizar por los organismos se empiezan a acumular con el paso de los años en los seres vivos.

En base a la premisa anterior, se integra el término de efecto de la biomagnificación, que hace referencia a que la acumulación de compuestos químicos no solo se estanca en eslabones inferiores de la cadena trófica, sino que empieza a ascender de presa a predador. Dando como resultado un mayor nivel de contaminación en las especies que encabezan los niveles tróficos

superiores, para el caso de los mares serán propiamente los delfines aquellos que presenten la mayor bioacumulación.

Los compuestos químicos liberados o asociados a los plásticos, no llegan a provocar efectos inmediatos en los organismos, pero si producen una toxicidad crónica, que se traduce en efectos adversos por dosis diarias de manera continua. Como un ejemplo se expone la disrupción endocrina que al tener concentraciones pequeñas puede producir mutaciones graves a nivel celular como la infertilidad, problemas neurodegenerativos, enfermedades cardiovasculares y hasta diversos tipos de cáncer. (Eljarrat, 2019)

2.7.4 Generación de gases contaminantes

Una de las estrategias que utilizan ciertos sectores industriales o posconsumo de polímeros, es la quema o incineración de plásticos, este tipo de prácticas desprende sustancias químicas y elementos tóxicos cancerígenos que llegan al aire y lo contaminan, entre estos compuestos que se pueden liberar se encuentran las dioxinas, el cloruro, cianuro de hidrogeno, furanos, metales pesados y radica en un incremento directo del CO₂ en la atmosfera. Como efecto posterior, esta variedad de gases que se desprenden, se pueden llegar a inhalar por la fusión con el aire circundante, generando en el ser humano dolor de cabeza, tos, problemas respiratorios, ardor en los ojos y nauseas. A largo plazo de la acumulación en el organismo de estos contaminantes, se empieza a desarrollar cáncer de pulmón, asma, infertilidad, que equivale a menos años de vida.

2.7.5 Contaminación visual

Otra parte de la problemática consiste en que una gran cantidad de plásticos, son desechados en barrancas, ríos, calles, etc. Aportando así a los tipos de contaminación previamente mencionadas y dando paso a la contaminación visual por las grandes aglomeraciones de residuos plásticos en zonas marítimas y terrestres.

Bajo este segmento se puede integrar lo que está ocurriendo en el Océano Pacífico, ya que entre Hawái y California se encuentra la isla de basura con mayores dimensiones del planeta tierra. Según la revista Nature, las investigaciones exponen que la isla cuenta con 1.6 millones de km², lo que equivale a 3 veces el tamaño del territorio Frances. Según datos arrojados en el estudio, se

calculó que a lo largo de su extensión se tienen más de 80.000 toneladas de plástico, y como dato relevante se reporta que fue la primera isla de basura reportada para el año 1997 por el oceanógrafo Charles Moore, pero no la última isla de basura oceánica confirmada, ya que, en años posteriores se encontró una en el Atlántico Norte en el año 2009, en el Índico para el año 2010, en la zona del Pacífico Sur en 2011 y finalmente en el Atlántico Sur en el 2017. Como datos adicionales, el estudio arroja que los plásticos constituyen el 99.9% de todos los residuos que se encuentran en estas islas, de igual manera bajo recolección estadística, de 50 objetos extraídos, el más longevo data del año 1977 y finalmente que los únicos plásticos que flotan por sus propiedades son los suficientemente gruesos como el polietileno y el polipropileno (Fundación Aquae, 2018)

Esta clase de situaciones, se da debido a los efectos de las corrientes rotativas y la disposición de los vientos, ocasionando que los desechos marinos y elementos plásticos, converjan en puntos específicos creando una zona de aglomeración de basuras.

2.8 Índices de producción y contaminación de la industria

2.8.1 Distribución de producción mundial

Como bien se sabe, gracias a la revolución industrial se han implementado nuevas tecnologías que permiten tener cadenas productivas más eficientes y rápidas, con índices de producción más elevados. Como no es de excepción, la industria de plásticos en el mundo ha dado un salto notorio que refleja la Figura 2 por la cual se logra evidenciar la distribución de la producción mundial de plásticos en el mundo, evidenciando un predominio del continente asiático sobre las regiones restantes.

Figura 2

Producción de plásticos en el mundo



Nota. Esta figura muestra la producción de plástico a nivel mundial, junto a las distribuciones porcentuales de la producción para el año 2019. Tomado de: Plastics Europe, (2021) La producción de plásticos en el mundo. <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>

Según datos recolectados por la asociación Plastics Europe, en el año 2019 la producción de plásticos alcanzó un récord de 368 millones de toneladas, especificando que el continente asiático produjo más de la mitad de la producción total. Es así como China se posicionó como el mayor productor de plásticos de un solo uso al ser responsable del 31% a nivel mundial, llegando a fabricar 82 kg per cápita. De igual manera los países pertenecientes al tratado de libre comercio de América del Norte, encabezaron el ranking al producir el 19%, que es aún más relevante ya que equivale a 141 kg per cápita, la cifra más alta a nivel mundial por persona. En cuanto a los continentes y territorios restantes, se destaca un 17% para el resto de Asia, 16% para el continente europeo, 7% para Oriente Medio y continente africano y cerrando la lista con 4% para Latinoamérica. (Plastics Europe, 2019)

2.8.2 Ranking de producción por empresas

Hoy en día las corporaciones multinacionales juegan un papel fundamental dentro del desarrollo de la sociedad, ya que en su mayoría buscan satisfacer las necesidades de sus clientes de manera satisfactoria; sin embargo, al querer llegar a tantos mercados y personas, se está llegando a unos niveles de producción excesiva que genera en el posconsumo grandes cantidades de desechos que no solo llegan a alarmar a las asociaciones medio ambientales, sino que a su vez aumentan el calentamiento global, favorecen la contaminación de los ecosistemas y se les puede llegar a atribuir la pérdida de especies animales por su bajo control en la disposición de desechos. Bajo esta premisa, la Figura 3 establece gráficamente las empresas que generan más basura plástica a nivel mundial, resaltando, como 5 de las 8 principales empresas productoras de plástico pertenecen al territorio estadounidense. Cabe aclarar que los datos numéricos se trabajan en toneladas y se ligan directamente al año 2020.

Figura 3

Empresas que generan más basura plástica



Nota. Esta figura muestra las empresas que generan más basura plástica a nivel mundial para el año 2020. Por Changing Markets Foundation, (2020) Las empresas que generan más basura plástica <https://es.statista.com/grafico/22973/cantidad-de-envases-de-plastico-producidos-anualmente/>

Según datos brindados por las mismas compañías, se registra a Coca-Cola como la empresa con mayor huella plástica a nivel mundial, estimándose en 2,9 millones de toneladas su producción de plástico anual. Se liga en segundo lugar su mayor competidor, PepsiCo, con 2,3 millones de toneladas, compañía que de igual manera pertenece al territorio de Estados Unidos; y finalizando el top 3, entra la empresa Nestlé que se desplaza hasta Suiza con una producción de 1,7 millones de toneladas de plásticos en el año. En cuanto a las 5 empresas restantes se informa que Danone, empresa francesa libera 820 mil toneladas, posteriormente se encuentra P&G con 714 mil toneladas, pasando a una empresa de Reino Unido y Holanda como lo es Unilever con 700 mil millones y cerrando el ranking con empresas pertenecientes a EE. UU que son Colgate-palmolive y MARS con 287.008 millones y 184 mil millones respectivamente, haciendo hincapié en que las últimas cifras equivalen a toneladas. (Changing Markets Foundation, 2020)

Como bien se sabe el poder que llega a tener una empresa o compañía puede ser lo suficientemente fuerte para pasar por encima de legislaciones, quedando demostrado como grandes compañías obstruyen soluciones ambientales con compromisos voluntarios vacíos que tienen el objetivo de generar lucro propio. (Changing Markets Foundation,2020)

2.8.3 Top países contaminantes

Finalizando los datos estadísticos de productores mundiales, en la Figura 4 se encuentran los países que generan más residuos de materiales plásticos que se elaboran para un solo uso a nivel mundial para el año 2019, con lo cual se termina de corroborar que el continente asiático encabeza la lista de productores mundiales, expresado en una brecha extrema frente a su competidor más cercano.

Figura 4

Países que generan más residuos plásticos de un solo uso



Nota. Esta figura muestra los países que generan más residuos plásticos de un solo uso para el año 2019 a nivel mundial. Por Fundación Minderoo, (2021) Los países que generan más residuos plásticos de un solo uso <https://es.statista.com/grafico/25010/paises-con-la-mayor-cantidad-de-residuos-plasticos-de-un-solo-uso-generados/>

Debido a la pandemia generada por el COVID-19 y la emergencia sanitaria actual, el miedo a la propagación de una infección ha llevado a la producción y consumo excesivo de elementos plásticos desechables, lo cual radica en un grave problema medio ambiental.

Para el año 2019, más de 130 millones de toneladas se desecharon en el mundo, destacando que los países más poblados de igual manera son los más contaminantes, entre los que se encuentra China a la cabeza con 25 millones de toneladas, en segundo lugar, Estados Unidos con 17 millones de toneladas y finalmente India con 5 millones de toneladas. De igual manera, se deben resaltar los países con mayor cantidad de residuos per cápita ya que varían al ranking de generación y liberación exceptuando a los estadounidenses. En primer lugar, con 59 kg por persona aparece Australia, consecutivamente los previamente enunciados Estados Unidos con 53

kg, en tercera posición se disputa Reino Unido y Corea del Sur con 44 kg, para cerrar la cuarta y quinta posición, se encuentran Japón y Francia con 37 kg y 36 kg respectivamente. (Fundación Minderoo, 2019)

2.8.4 Indicadores de la ONU

En un nuevo informe de la ONU se revelaron cifras sobre el impacto que tienen los plásticos a nivel mundial.

- 1** 13 millones de toneladas de plásticos se vierten en los océanos cada año.
- 2** Solo un 9% de las 9000 millones de toneladas de plástico que se han producido ha sido reciclado en el mundo.
- 3** Si no se toman medidas, en el año 2050 existirán 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos en la naturaleza.
- 4** 5 millones de bolsas plásticas son utilizadas cada año y 1 millón de botellas plásticas compradas cada minuto. De estas cantidades el 70% termina en vertederos.
- 5** Se ha detectado microplásticos en la sal de mesa y algunos estudios revelan que el 90% de agua embotellada y el 83% de agua de grifo contiene partículas de plástico.
- 6** Cada año se producen al menos 300 millones de toneladas de residuos plásticos, lo que equivale al peso de toda la población humana.
- 7** En 2017, el plástico ocupó los 10 primeros lugares de lo que se recolecta en océanos, superando a las botellas de vidrio.
- 8** Entre el 60% y 80% de los residuos marinos son plásticos, que en su mayoría tienen dimensiones menores a los cinco centímetros, entrando en la clasificación de microplásticos.
- 9** Se utilizan 200 bolsas de plástico por persona al año, las cuales tardan 400 años en degradarse.
- 10** Se expone el tiempo que tarda en descomponerse 4 objetos plásticos: botellas (500 años), cubiertos (400 años), popotes (100 años) y vasos (65-75 años).

Información recopilada del informe o nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta (ONU, 2018)

2.8.5 Indicadores Colombia

Respecto al informe elaborado por la Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública de la facultad de Derecho de la Universidad de los Andes y Greenpeace Colombia, se logró recopilar la siguiente información sobre datos específicos de los plásticos para el territorio colombiano en base a los años 2017 y 2018.

- 1** La producción de bolsas plásticas supero las 60 mil toneladas.
- 2** Frente a los plásticos de un solo uso se registra para los pitillos una producción de 2 mil toneladas.
- 3** Se produjeron 23 mil toneladas de tapas plásticas.
- 4** El consumo de bolsas plásticas ascendió a 428 mil toneladas.
- 5** En Bogotá existen 1500 distribuidores de bolsas plásticas.
- 6** El 80% de los consumidores en el territorio nacional viven en las ciudades, denotando centros de hiperconsumo.
- 7** En la capital del país se generan diariamente 6.265 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 56% equivale a plásticos (se incluyen plásticos de un solo uso).
- 8** Se resalta que el consumo de material plástico en Colombia es de 1.250.000 ton/año
- 9** En promedio un colombiano genera 24 kg al año de desechos.
- 10** Tan solo el 17% de todos los residuos sólidos incluyendo plásticos son reciclados.
- 11** Los manglares colombianos se están viendo afectados por la contaminación plástica evitando el desarrollo, reproducción, desove y cría de especies.
- 12** La comida de mar es la principal fuente de consumo de microplásticos, lo que entra a comparación con el consumo de pescado en el contexto colombiano que supera los 8 kilos al año.
- 13** Las plantas de incineración cuestan alrededor de 800 a 1000 millones de dólares, generando que el gobierno local quede comprometido por 30 años.
- 14** La incineración de plásticos genera alrededor de 850 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero.
- 15** En el contexto nacional, la producción de plásticos aumento un 2,5% en comparación a años anteriores.

Información recopilada del informe Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente (Greenpeace, 2019)

3. OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE RELACIONADOS

Los objetivos del desarrollo sostenible, también llamados objetivos mundiales, se instauran en el año 2015 como una visión universal para proteger al planeta y permitir que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el año 2030. De igual manera, cabe aclarar que estos objetivos influyen en conjunto uno frente al otro, como una cadena integrada, ya que el resultado de uno repercutirá en el resultado consiguiente, por lo cual se debe establecer un equilibrio entre los 3 pilares que lo componen como lo es el medio ambiente, la parte económica y la social.

Teniendo en cuenta los 17 ODS, como se observa en la Tabla 1 es posible relacionar 7 de ellos con la industria de polímeros, como lo son: vida submarina, vida de ecosistemas terrestres, acción por el clima, producción y consumo responsable, industria innovación e infraestructura, agua limpia y saneamiento y finalmente salud y bienestar.

Tabla 1

ODS Relacionados a la industria polimérica.

OBJETIVO	RELACIÓN	CIFRAS
Salud y bienestar (OBJ 3)	Muerte y enfermedades por finas partículas, cáncer pulmonar por degradación de plásticos y liberación de gases contaminantes por quema indiscriminada de plásticos.	Cada 2 segundos alguien entre 30 a 70 años muere por enfermedades respiratorias crónicas. 7 millones de personas mueren cada año por exposición a finas partículas de aire contaminado. (PNUD, 2021)
Agua limpia y saneamiento (OBJ 6)	No tratamiento de aguas residuales a cursos hídricos por empresas de la industria polimérica y la gran masa de productos plásticos arrojados a mares y ríos que contaminan y generan problemas de saneamiento.	El estrés hídrico afecta a más de 2mil millones de personas. Cada segundo se arroja más de 200 kg de plásticos a mares y océanos. El 80% de aguas residuales se vierten sin ningún tipo de tratamiento alrededor del mundo. (PNUD, 2021)
Industria, innovación e infraestructura (OBJ 9)	Es posible brindar nuevas tecnologías que permitan generar mejores sistemas de disposición de materiales plásticos, trazar proyecciones sobre tiempos de degradación para productos plásticos	Tan solo el 9% de los plásticos usados son reciclados. El 79% de los residuos plásticos se encuentra en vertederos o en el medioambiente. (PNUD, 2021)

Tabla 1. (Continuación)

	e inversión en tratamiento de residuos para reincorporar al ciclo productivo, implementación de la economía circular.	
Producción y consumo responsables (OBJ 12)	Evitar caer en una sobreproducción innecesaria de plásticos y elementos de esta industria reconociendo lo que se debe trabajar en la cadena productiva; productores y consumidores trabajen de la mano bajo el reciclaje y la reducción.	El sector de plásticos representa alrededor del 10% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Se calcula que en todo el mundo se consumen 50 kilos al año de plástico por persona. Se reciclan 18 kg por persona, pero se desaprovechan 23 kilos por habitante. (PNUD, 2021)
Acción por el clima (OBJ 13)	La crisis medioambiental por plásticos es grave, para mantener el calentamiento global en un rango aceptable, es urgente reducir la cantidad de plásticos producidos, consumidos y desechados. Los cambios son tan notorios que se están generando oleadas de calor, inundaciones y huracanes.	La producción e incineración de plástico generan la emisión de 56.000 millones de toneladas equivalentes de CO ₂ hasta el año 2050 y de igual manera el 10 al 30% de lo que se puede llegar a gastar en presupuesto de carbono. Aumento de temperatura que puntúa en 2°C por encima de niveles preindustriales. (PNUD, 2021)
Vida submarina (OBJ 14)	Los plásticos han desencadenado una contaminación devastadora en ecosistema acuíferos y las especies que allí habitan, llevando a la muerte y extinción de especies. Se debe buscar la reducción de contaminación microplástica y establecer normativas más estrictas sobre el cuidado del recurso natural.	Los fragmentos de plástico han afectado a cerca de 44.000 animales marinos, bien sea por la ingesta o por quedar atrapados o enredados en los mismos. La tortuga o la foca monje de Hawái son especies en extinción que se ven muy afectadas por la contaminación de plásticos. Los océanos absorben cerca del 30% de CO ₂ generado en actividades humanas y la acidificación de mares ha aumentado en un 26% desde la revolución industrial. (PNUD, 2021)

Tabla 1. (Continuación)

Vida de ecosistemas terrestres (OBJ 15)	Acciones que pueden favorecer al cuidado de estos ecosistemas y que se unen directamente con el sector de plásticos es evitar la tala indiscriminada de árboles para colocar rellenos sanitarios sin antes plantear medidas de reforestación, así mismo evitar enterrar botellas y demás elementos plásticos, ya que afectan las propiedades del suelo y liberan agentes contaminantes que pueden dañar la vida del ecosistema en cuestión.	La flora provee el 80% de la alimentación humana, y los bosques cubren el 30% de la superficie terrestre, como fuente para generación de aire limpio y agua. Una investigación de microplásticos presentes en alimentos representa el 15% de las calorías consumidas por una persona promedio. Así mismo los humanos podrían estar consumiendo entre 39.000 y 52.000 partículas de microplásticos al año. (PNUD, 2021)
---	---	---

Nota. La Tabla 1 muestra los 7 ODS que se relacionan a la industria polimérica, acompañado de 2 columnas en dónde se expresa la relación directa y cifras recopiladas. Por Diego Ángel 2022. Cifras obtenidas de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo- PNUD, 2021.

3.1 Pilares

Dentro de la implementación del desarrollo sostenible, como se había mencionado anteriormente, se presentan 3 pilares fundamentales, también conocidos como la triple cuenta, sobre los que se apoya el concepto de sostenibilidad alrededor del mundo, estos son:

- **Sostenibilidad social:** bajo este concepto se busca fomentar el desarrollo de las diferentes comunidades, culturas y personas intrínsecas de la sociedad en búsqueda de la calidad de vida, una educación adecuada y sanidad de manera equitativa a nivel global. Así mismo, hoy en día, se agregó para este pilar la lucha por la igualdad de género, tanto para los países desarrollados como los que están en desarrollo, ya que se reconoce como un aspecto fundamental en el equilibrio interpersonal.
- **Sostenibilidad ambiental:** este apartado tiene como fundamento defender la idea de que la naturaleza no es una fuente inagotable de recursos, por lo cual se debe velar por su cuidado apoyándose en la idea de darle un uso racional a los diferentes recursos ecosistémicos que nos brinda la Tierra. El estándar de la sostenibilidad ambiental engloba aspectos como la

inversión en energías alternativas y renovables, el ahorro de agua, el cuidado del medio ambiente, movilidad sostenible y la innovación arquitectónica.

- **Sostenibilidad económica:** siendo el tercer pilar de la sostenibilidad, se centra en la parte económica, buscando impulsar un crecimiento de riqueza equitativa, por lo cual se pretende tener una inversión y reparto igual entre los diferentes sectores sociales para potenciar los otros 2 pilares y así llegar a un desarrollo eficaz.

3.2 Metodología del desarrollo sostenible en la industria

Los materiales poliméricos son elementos arraigados y necesarios en nuestras vidas, por lo cual se debe disponer de un diseño y desarrollo racional que establezca parámetros de sostenibilidad. En los últimos años debido a las diferentes problemáticas que genera el sector industrial de polímeros y sus productos, se han planteado nuevas vías científicas y tecnológicas para elaborar plásticos ecológicos, que impulsen nuevas materias primas menos contaminantes o cero contaminantes, así mismo se innova a partir de los reconocidos bio-polímeros, polímeros bio-basados y polímeros nanotecnológicos, que no solo favorecen en la reducción de contaminación del planeta, sino que pueden reducir costos asociados a la producción y posconsumo por lo que van asociados a impulsar la reutilización, reparación y reciclaje final.

3.2.1 Biodegradación

Para abordar este tema, inicialmente se debe exponer que los microorganismos además de ser capaces de sintetizar sustancias (proteínas, ácidos y polisacáridos) son capaces de degradar estos elementos. Sin embargo, los polímeros sintéticos en su mayoría no presentan una afinidad o sensibilidad a la degradación enzimática por microorganismos. Para los materiales orgánicos factibles de degradación biológica, existen organismos vivos como actinomicetos, hongos y bacterias, que bajo condiciones especiales pueden dar gradualmente la descomposición de poliuretanos, poliamidas y poliésteres.

Teniendo en cuenta la información anterior, se dice que la biodegradación es la degradación y asimilación que ciertos organismos vivos tienen sobre ciertos tipos de materiales.

3.2.2 Plástico Biodegradable

Según la norma ASTM D 5488-944 se da la definición de biodegradabilidad como la capacidad que tiene un material para descomponerse en forma de dióxido de carbono, agua, metano y biomasa o componentes orgánicos, proceso en el que predominara la acción enzimática de los microorganismos hacia el producto. Es así, que se da la generalidad de polímeros biodegradables a aquellos que su ruta de degradación este dada por la acción natural de microorganismos ya sean del tipo bacteria, hongo o alga. (Revista EIA, 2007)

Como factores importantes a la hora de darse un proceso de degradación se tienen que:

- Contar con la presencia de microorganismos
- Presencia de aire (en caso de requerirlo)
- Presencia de minerales y humedad adecuada
- Temperatura consigna ideal dependiendo del tipo de microorganismos
- pH adecuado (entre 5-8)

Cuando se habla de un plástico biodegradable, también se puede definir el mismo como: *“materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática.”* (Ecoplas, 2020)

Entre las diferentes vías por las cuales se obtiene este tipo de polímeros se encuentra la vía fermentativa, vía bacteriana de gránulos dentro de la célula, desarrollo petroquímico, entre otros.

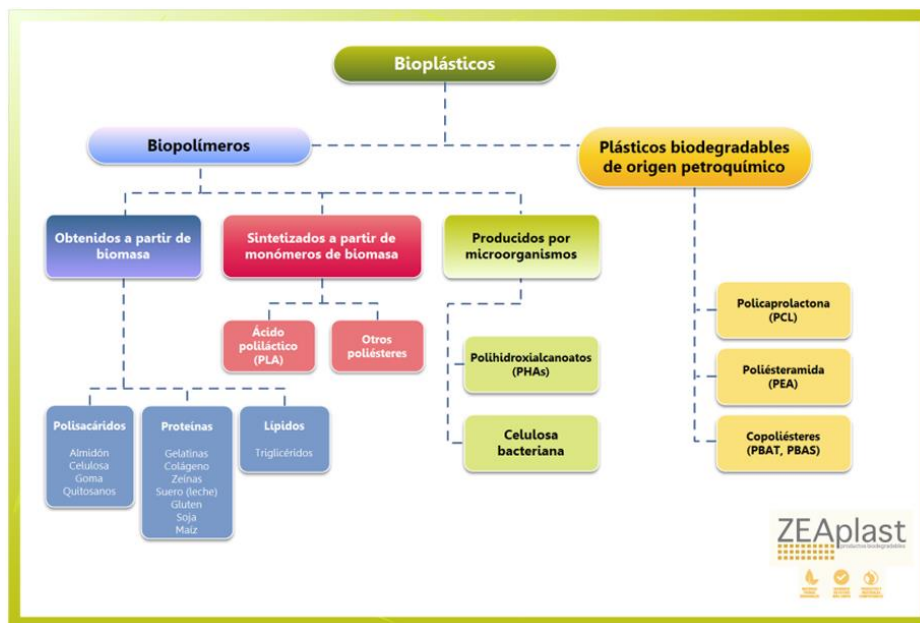
3.2.3 Tipos de plásticos biodegradables

- Vía fermentativa: Como ejemplo directo se encuentra el Biopol™, polihidroxibutirato (PHB y PHV), el pululano y el ácido poliláctico (PLA)
- Vía bacteriana: Esta ruta se centra principalmente en el Polihidroxialcanoato que se usa en la industria farmacológica y médica por sus propiedades de biodegradación e impermeabilidad.

- Petroquímico: El polímero principal obtenido es la policaprolactona (PCL), el cual es totalmente asimilado por los microorganismos y se usa en la industria para reemplazar el yeso ortopédico. Así mismo, del PCL se deriva el Mater-bi™, mezcla que integra el almidón para producir una variedad de productos como termo formado, inyectado y películas.

En base a las vías explicadas en la sección anterior, se expone mediante la Figura 5 las subdivisiones atribuidas a los bioplásticos ya sea por una ruta biopolimérica (biomasa, monómero de biomasa y microorganismos), o por ruta petroquímica (PCL, PEA, PBAT y PBAS).

Figura 5
Bioplásticos y subdivisiones



Nota. Esta figura muestra las subdivisiones y rutas de obtención de una gran variedad de bioplásticos que se trabajan en la industria actualmente. Por ZEAplast, (2013) Bioplásticos. <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/tipos-de-bioplasticos++-21>

3.2.3.i Poliláctico (PLA). Como primer biopolímero biobasado se presenta el ácido Poliláctico de la empresa NatureWorks partir de la transformación de almidón de maíz por hidrólisis enzimática, fermentación y finalmente una polimerización. Se habla de que este proceso permite obtener un biopolímero competitivo tanto en propiedades y precio, llegando a

compararse con el polímero PET, presentando mejoras reflejadas en una reducción del 50% en cuanto a los gastos energéticos y del 75% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Según datos obtenidos del mercado se producen 140.000 Ton del polímero para la producción de diferentes elementos como envases, embalaje o fibras textiles (Revista de plásticos modernos, 2018, pp.21)

3.2.3.ii Polihidroxialcanoatos (PHA). Estos polímeros, clasificados directamente en el grupo de completamente degradables, son polímeros naturales que se producen por acción directa de bacterias y su estructura se basa en monómeros polimerizados de manera lineal. En cuanto a sus propiedades físicas se asimilan a plásticos sintéticos derivados del petróleo, ya que se caracterizan por propiedades de plastificación rígida y quebradiza, o por el contrario exponen semejanza al hule. En cuanto a su síntesis, se puede derivar de 3 rutas metabólicas: la degradación de azúcares bajo la obtención de la molécula Acetil CoA, de igual manera se puede dar a partir de la degradación de ácidos grasos o por la vía final expresada en la biosíntesis de ácidos grasos. En cuanto a su proceso de biodegradación se da la ventaja de que sus gránulos bajo la presencia de microorganismos son hidrolizados como fuente de carbono y energía para los mismos, gracias a la acción de depolimerasas secretadas por los microorganismos se pasa a unidades de monómeros independientes, facilitando la degradación de los PHA en todo tipo de ambientes, y se estima a su vez que su degradación completa se da en menos de 50 días bajo condiciones tropicales. (Serrano, 2010)

3.2.3.iii Policaprolactona (PCL). La Policaprolactona nace de la búsqueda de reemplazar los pbd, caracterizado por ser un polímero sintético biodegradable con la ventaja de ser degradado por acción microbiana. Estos polímeros PCL pertenecen a la familia de poliésteres alifáticos, constituidos en su cadena por monómeros de hexanoato, síntesis que se puede dar a partir de tres rutas específicas, la primera de ellas es la ruta de policondensación de monómeros, la segunda es bajo la ROP del monómero CL a partir de catalizadores y finalmente la ROP vía radical de 2-metileno-1, 3-dioxepano (Puentes, 2020).

En cuanto a su degradación se conoce que es lenta en comparación a otros polímeros biodegradables, ya que puede tardar meses o años y su factor diferencial lo dará el peso molecular, la cristalinidad y las condiciones ambientales. Al paso de 6 meses no habrá cambios

considerables en su degradación, pero a partir de este punto a los 2 o 3 años se perderán todas sus propiedades, completando la degradación. De igual manera cabe resaltar que bajo estudios realizados se asocia una toxicidad baja y compatibilidad en tejidos humanos, por lo cual se ha incrementado su uso en la bioingeniería y en campos farmacéuticos para la liberación parcial y controlada de medicamentos. (Puentes, 2020)

3.2.3.iv Poliésteramida (PEA). Son polímeros de condensación que en su cadena principal contienen enlaces de tipo éster y amida. Los primeros estudios de Poliésteramida biodegradables se remontan a 1979, en donde se utilizaron poliésteres de tipo Policaprolactona y poliamidas de tipo Nylon, cuyo resultado fue la susceptibilidad a la degradación de carácter enzimática a partir de lipasas. Hoy en día se puede dar la clasificación de las mismas en diferentes familias del polímero en base a su constitución y síntesis: polidepsipéptidos, poliésteramidas basadas en nylons las cuales presentan una degradación rápida, poliésteramidas derivadas de carbohidratos y finalmente poliésteramidas que contienen α - aminoácidos. (Hinojosa, 2012).

En cuanto a sus propiedades se encuentra su alta capacidad para absorber agua, fácil procesado en estado fundido, se llegan a hidrolizar lentamente y su rotura de cadena se da mayoritariamente en el enlace éster, sin embargo su degradación se puede acelerar al agregar mayor cantidad de enzimas. Respecto a sus usos y aplicaciones a nivel industrial se tiene un gran abanico de posibilidades frente a las rutas de síntesis y componentes; es así que se puede usar como sustituto del plomo metálico, en fabricación para industria mobiliaria, recubrimiento de cables, herramientas del hogar, film para envasado y conservación de alimentos y en la industria biomédica como hilos de sutura o para la liberación de fármacos. (Hinojosa, 2012)

3.2.3.v Copoliésteres (PBAT, PBAS). El tereftalato de adipato de polibutileno, también conocido como PBAT, es un copoliéster alifático sintético con propiedades altamente biodegradables, que requiere tres compuestos para su síntesis como lo son el ácido tereftálico, el ácido adípico y el 1,4-butanodiol. Dentro de su estructura química la parte alifática se encarga de darle las propiedades biodegradables y la aromática le otorga buenas propiedades mecánicas; cabe resaltar que es posible controlar la velocidad de degradación variando las composiciones de los homopolímeros en el copolímero. Debido a sus elementos de constitución se logran obtener propiedades llamativas industrialmente además de la biodegradabilidad como lo son: buena

estabilidad térmica hasta los 230°C, compostable, apto para contacto con alimentos, soldable y muy flexible; sin embargo, aunque posea todas estas ventajas el costo de producción para estos biopolímeros llega a ser alto. (Mexpolímeros, s.f).

3.2.3.vi Campos de interés. La tabla 2 Señala como a partir de plásticos biodegradables se puede llegar a interactuar con una variedad de sectores industriales que requieren este tipo de características en sus productos, no solo para el cuidado del medio ambiente sino para el desarrollo de procedimientos efectivos y que cumplan con los parámetros establecidos y planeados.

Tabla 2

Aplicaciones por área de plásticos biodegradables

AREA	APLICACIONES
Agricultura	Bolsas para trasplantar semillas, plantas, arboles, capsulas y fundas para semillas. Microcápsulas para la liberación lenta de fertilizantes, insecticidas, fungicidas. Mantos protectores del suelo.
Medicina	Suturas quirúrgicas. Implantes que entregan medicinas de una manera controlada. Capsulas para medicamentos.
Empaques	Recipientes, bolsas y envolturas desechables.
Miscelánea	Recubrimientos para evitar la erosión de laderas cultivadas o recién destapadas. Bolsas de arena en diques temporales para controlar inundaciones.

Nota. La Tabla 2 muestra las aplicaciones que tienen algunos plásticos biodegradables en las áreas de agricultura, medicina, empaques y misceláneos. Por Beatriz Bustamante (2012 <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>)

3.2.4Compostaje

Este proceso de descomposición apto para materiales de desecho biodegradables, hace referencia a ciertos tipos de polímeros, que tiene como objetivo final obtener un fertilizante de este compost

de salida. En su tiempo para desarrollar la descomposición se da la producción de CO₂ (Dióxido de carbono), agua, compuestos orgánicos y biomasa, sin generación de residuos tóxicos.

Actualmente se aplican varios sistemas de compostaje que deben presentar y alcanzar ciertas condiciones específicas para lograr el compostaje y degradación adecuada, basadas en la humedad, temperatura, acidez, presencia de oxígeno y especies bacterianas, con lo cual se evita patógenos letales y elementos germinativos que afectarían los parámetros internos.

3.2.4.i Sistemas de compostaje. De manera general se enuncian los dos sistemas de compostaje más usados.

- **Sistemas en Camellones o Parvas:** también conocidos como pilas, se da la formación de hileras para lograr dimensiones específicas que procesan el material. Según la aireación aplicada se subdivide en sistema móvil o sistema estático, que se basan en la homogenización por remoción de las parvas y en instalaciones fijas para dar aireación forzada respectivamente.
- **Sistemas de Reactores:** estructura metálica ya sea de forma rectangular o cilíndrica, en la cual se controlan parámetros constantes de humedad, aireación, etc; en donde se posibilita la mezcla continua de los desechos internos para volúmenes mayores que el sistema previamente mencionado.

3.2.5 Polímeros Fotodegradables

Esta clase de materiales, como su nombre lo indica, se basa en la degradación específica por la acción de los rayos UV que se liberan por radiación solar, con lo cual el plástico perderá resistencia y se irá fragmentando en partículas diminutas. Debido a que la energía procedente de la luz solar supera la energía de unión de los enlaces C-C Y C-H, se logra este proceso que rompe las cadenas moleculares, lo cual radica en la reducción de sus propiedades mecánicas y directamente su peso molecular.

Actualmente en la industria se sabe que existen gran variedad de patentes, bajo las cuales se logra la fotodegradación acelerada a partir de aditivos agregados a tipos de plásticos como el

polietileno, con lo que se logra reducir a pocas semanas la degradación bajo exposición directa al sol.

3.2.6 Polímeros solubles en agua

Esta técnica en específico permite solubilizar materiales bajo el contacto directo con agua, bajo condiciones preestablecidas de temperatura y microorganismos del sistema. El proceso degradativo se favorecerá al ser plásticos de origen natural como los polisacáridos (almidón y celulosa) y requerirá mayor esfuerzo o cambios en la cadena (uso de aditivos) al ser de origen sintético relacionados a la industria petroquímica. (alcohol polivinílico, acrilamida o ácido acrílico)

3.2.7 Polímeros Oxodegradables

Este tipo de polímeros, tienen una descomposición basada en etapas múltiples a partir de agentes y aditivos químicos. En la primera fase, por radiación solar o tensión mecánica se inicia la oxidación, lo cual se traduce en la reducción del peso molecular que será susceptible a biodegradarse con más facilidad en el tiempo siguiente, que se denominará la fase final de su ciclo de vida.

3.2.8 La regla de las 3R

La regla de las tres erres, se estableció con el fin de cuidar el medio ambiente, cuyo objetivo específico es reducir el volumen de residuos o desechos generados y se incluye en decálogos empresariales que quieran cumplir con el carácter de responsabilidad social. De igual manera, la regla aplica a consumidores que de manera autónoma y responsable quieran disminuir la huella de carbono y que de ambas partes se valida benéficamente como ahorro de dinero.

Cuando se habla de las 3R, se hace referencia a una regla que acopla tres términos ligados entre sí, los cuales son reducir, reutilizar y reciclar.

3.2.8.i Reducir. Este primer término de la triplete, de forma general, busca simplificar el consumo de materia prima en una industria específica o el producto directo, es, decir, todo lo que se compra y se consume, esto debido a que como esquema general se sabe que hay una relación

directa entre la cantidad de elementos que se consumen y la cantidad de desperdicios liberados como posconsumo

3.2.8.ii Reutilizar. El segundo punto fijado se refiere a poder volver a utilizar los bienes materiales o productos para sacarles el mayor provecho, en otras palabras, exprimir la vida de las cosas lo más que se pueda antes de poder considerarlas un desecho y votarlas, con lo cual se logra directamente la disminución del volumen de basuras.

3.2.8.iii Reciclar. El tercer y último concepto, no por menos importante, consiste en someter los materiales posconsumo a procesos que permitan reintegrar el material a un proceso productivo, utilizándolo para alargar su ciclo de vida y dándole un nuevo propósito.

3.2.9 Las 3R de los plásticos

Envases

- Reducir el uso de envases plásticos y en lo posible hacer uso de envases de vidrio ya que estos a su vez pueden ser lavados y reutilizados, y como propiedad especial, el vidrio se puede reciclar hasta 40 o 50 veces en promedio.
- Para las botellas de agua una vez se acabe el contenido, la acción a seguir debe ser reutilizarlas haciendo reenvasado para evitar comprar una nueva cada día.
- En restaurantes evitar pedir pitillos plásticos para las bebidas, con lo cual se reduce los desechos de este tipo que afectan a varias especies animales no solo terrestres sino marítimas.
- Buscar usos alternos para envases de plásticos de alimentos, como almacenaje para otro tipo de usos.
- Si se quiere desechar un Tetrapak o frasco de refresco, asegurarse de verter el líquido para que este se encuentre lo más seco posible y depositarlos en los botes de color azul
- Para las sucursales de acopio y almacenaje de envases desechados, se debe buscar de manera responsable un proveedor acreditado que le dé el tratamiento adecuado al material acumulado.

Bolsas plásticas

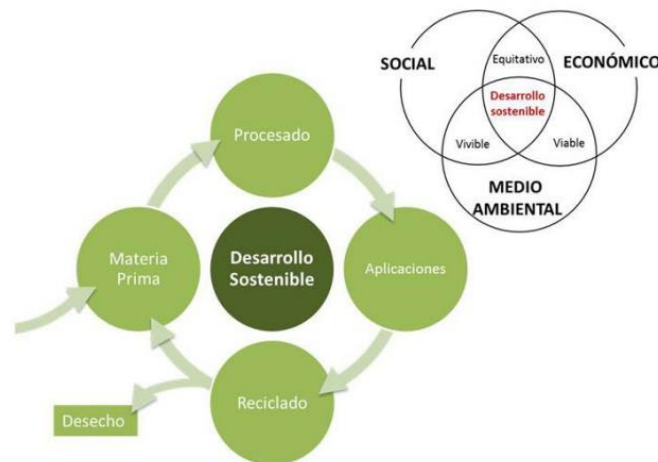
- No pedir bolsa plástica en tiendas cuando se pueden llevar los productos en la mano o para facilitar el transporte hacer uso de bolsas de lona o reutilizables
- En lo posible contar en casa con bolsas de tela
- No debe haber bolsas plásticas en el bote de basura personal

3.3 Estrategias a nivel mundial y nacional

Para dar inicio a los proyectos a nivel mundial y nacional se debe integrar el esquema de la Figura 6 que permite visualizar el ciclo circundante del desarrollo sostenible desde un punto de vista productivo a nivel industrial y otro asociado al nudo borromeo que asocia la triple trinidad de la sociedad, economía y medio ambiente que encierran el desarrollo sostenible. De igual manera, hoy en día se está impulsando un desarrollo más sostenible basado en los preceptos de una economía circular, con lo cual se busca cubrir las necesidades de nuestra sociedad utilizando de una forma más racional y eficiente los recursos medio ambientales existentes, siempre y cuando sea económicamente viable. Así se establece un plan de acción centrado en la economía circular sostenible, que se sostiene en los pilares del eco-diseño, la química verde, análisis del ciclo de vida y la ecología industrial

Figura 6

Esquema circular del desarrollo sostenible para nuevos materiales



Nota. Esta figura muestra el esquema circular para el desarrollo de nuevos materiales basado en los preceptos de un desarrollo sostenible. Por Valentín et al., (2018) Diseño y desarrollo sostenible de materiales poliméricos https://www.researchgate.net/publication/323265790_Disenyo_y_desarrollo_sostenible_de_materiales_polimericos

Para el desarrollo de modelos y metodologías a nivel mundial en la industria de polímeros se han trabajado una serie de principios amigables con el medio ambiente y viables para la implementación a gran escala en el sector de plásticos, como lo son:

- Las materias primas o recursos deben ser provenientes de fuentes renovables.
- El procesado de materiales debe estar optimizado para reducir el impacto ambiental, mejorando a su vez las propiedades de los ya existentes.
- Tener en cuenta la vida útil de los materiales
- Gestión eficiente y responsable de los residuos

De igual manera se debe concientizar tanto a las grandes corporaciones e industrias, como a la población en general de aplicar la jerarquía de actuación establecida por la Unión Europea, la cual habla sobre priorizar la prevención de residuos, aplicar la reutilización y el reciclado como valor energético y finalmente la eliminación en vertedero.

3.3.1 Polímeros autorreparables

En los últimos años se han invertido recursos y dedicados esfuerzos para lograr el desarrollo de polímeros capaces de repararse autónomamente. Por lo cual, se busca que algunos de estos polímeros al aplicar un estímulo externo, se desencadene el mecanismo propio de auto reparación, entre los cuales se encuentra el calor o la luz. De manera técnica el proceso se basa en dar un ordenamiento molecular dirigido a enlaces reversibles. Actualmente se manejan proyectos en poliuretanos, que permite que el material elastómero incremente su sostenibilidad y a la vez mantenga todas sus aplicaciones técnicas. (Revista de plásticos modernos,2018, pp.24)

3.3.2 Caucho natural (NR)

Para avanzar en la ruta del desarrollo sostenible de los materiales poliméricos, en la actualidad se usa mucho como materia prima biopolímeros provenientes de fuentes renovables, para este caso, se pueden encontrar en el mercado una gran variedad de productos elaborados en base a el caucho natural o natural rubber como se le conoce en inglés. Este polímero que se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis* del amazonas, tiene como mecanismo de producción natural la coagulación del látex.

Debido a que no se ha logrado una alternativa sintética capaz de sustituir el biopolímero, se considera este caucho como el más importante a nivel industrial, con una participación del 40% de los elastómeros de todo el mundo, que en cifras se relaciona en más de 40.000 productos fabricados, incluyendo neumáticos, guantes, botas, mangueras, trajes de buceo, entre otros. A pesar de ser una buena herramienta para combatir la contaminación ambiental que contrarresta la generada por otro tipo de polímeros, que se refleja en una producción anual de más de 12 millones de toneladas, se sabe que solo llega a cubrir el 1% de las necesidades del mercado. (Revista de plásticos modernos,2018, pp.21)

3.3.3Procesamiento de plásticos en la industria automotriz

En el artículo “Retos en la industria de procesamiento de plásticos y compuestos”. Se evidencia un caso de estudio para la industria automotriz, referente al cambio de los materiales que eran usados anteriormente en los paneles, el chasis, estructura de asientos y el tablero de instrumentación; debido a que anteriormente estas partes y componentes eran fabricados con metales, que no solo aumentaban el peso, sino que generaban un impacto ambiental. Gracias a la innovación tecnológica de la nueva generación, se ha podido hacer uso de resinas y materiales reforzados con fibras factibles de generar formas más complejas, así mismo se da la reducción de costos de producción y operación, y finalmente en cuanto a la parte del medio ambiente, permite una mejora ecológica y una reducción del impacto ambiental gracias a estos nuevos productos (Osswald et al., 2012)

3.3.4Aprovechamiento de llantas usadas

Uno de los residuos de la industria automotriz e industria polimérica que mayor impacto tiene sobre el medio ambiente son las llantas, esto debido a que ocasionan una serie de problemáticas en su disposición final como enfermedades, contaminación de aguas y contaminación del aire por su quema a cielo abierto. Según cifras entregadas por el Ministerio de Medio Ambiente se estimó que para el año 2008 en el territorio colombiano se usaron más de 4.493.092 llantas en relación a todo tipo de vehículo automotor de 4 ejes, lo que derivó en 61.000 toneladas de residuos para este año. (Gómez y Sánchez, 2011)

En relación a esto, debido a que alrededor del mundo se llegan a presentar las mismas problemáticas ligadas a la contaminación por llantas usadas, se han llegado a implementar una variedad de proyectos innovadores y ecológicos, bajo los cuales el cuidado del medio ambiente junto a la reutilización de llantas satisface necesidades sociales.

Uno de los proyectos más notorios es la fabricación de pisos decorativos, diseño que se soporta en antecedentes como el reciclaje de llantas en Canadá para la fabricación de zapatos, el reciclaje de neumáticos en Andalucía para la elaboración de bolsos y la recolección de llantas usadas por la empresa colombiana Mundo Limpio; Los pisos decorativos a base de llantas usadas presentan ventajas notorias como el bajo costo de adquisición del material, las grandes cantidades de stock actual para trabajar, generación de empleo en el reciclaje y reutilización y finalmente la disminución de contaminación al medio ambiente generada por este tipo de residuos. (Gómez y Sánchez, 2011)

En relación a la calidad del producto a instalar, se sabe que las características finales de los pisos es la alta durabilidad, absorción del sonido, aislante eléctrico y térmico, antideslizante, resistente a quemaduras y que por parte de su instalación se da una facilidad y versatilidad para todo tipo de espacios.

3.3.5 Proyectos en base a botellas plásticas

Con la idea de lograr un cambio favorable en el planeta, varias empresas han optado por hacer uso de los desechos plásticos que contaminan océanos y ecosistemas terrestres. Bajo esta mentalidad, actualmente se han desarrollado una serie de emprendimiento y estrategias que no solo favorecen el planeta, sino que apoyan a personas de escasos recursos dándole un sentido y respaldo mayor.

1. Ecoboats: proyecto pensado en la contaminación de las costas de Camerún y los pescadores de bajos recursos que se encuentran en la zona, al juntar ambas necesidades se da la creación de los botes de plástico; la empresa Madiba & Nature dirigida por Ismaël Essome, se encarga de recolectar los desechos, alcanzando alrededor de 3 Ton al mes y a su vez dar la creación de los botes.

2. Tablas de surf: Sustentabla es la empresa responsable de la creación de estas tablas manufacturadas con plásticos reciclados. Su metodología se centra en colaborar con comunidades de Chile para recolectar el plástico y posteriormente llevarlo a Santiago donde se convierten en pellets para introducirlos en moldes y obtener el producto final. Como plus de innovación tecnológica las tablas son 3 veces más duraderas que las tablas convencionales.
3. Mantel, fundas y bolsas de mano: la conocida marca global de productos para el hogar IKEA, en búsqueda de descontaminar los océanos lanza el proyecto MUSSELBLOMMA, que es un conjunto de bolsos, fundas y mantel contemporáneos, hechos con desechos plásticos marinos que son recogidos por pescadores españoles; después de recolectarlos se clasifican y limpian directamente en contenedores para transformarlos de manera mecánica en hilo y tela, para la producción de los diferentes productos.
4. Tenis deportivos: Adidas en colaboración con la organización ambiental Parley for the Oceans, logran crear un producto innovador para los deportistas como lo es el calzado hecho de plástico. Para la creación de cada uno de estos productos se requieren 11 botellas de plástico, que se recolectan de las playas y el proceso se culmina en Francia donde se da el diseño y moldeo para distribuir a los consumidores.
5. Amortiguador Beaulx: con el objetivo de amortiguar grandes cantidades de lluvia, se da la creación de las bolas de plástico Beaulx, gracias a su forma hueca y diseño a partir de materiales reciclados funciona como un sustrato que amortigua hasta 800 litros de agua lluvia, además presenta la ventaja que al expandirse aprovecha el área total al máximo y se puede fabricar en cualquier parte del mundo para evitar costos de transporte.
6. Ecotec: este proyecto revolucionario nace del ingenio de la alemana Andreas Froese, la cual diseña espacios en base a botellas desechables, escombros y tierra, permitiendo que las personas de escasos recursos tengan un hogar y llegando a países como Uganda, Honduras, Bolivia, México y Colombia. Como ventaja diferencial se estima una reducción de gastos entre el 40% y 50% en relación a una construcción normal y se caracteriza por sustituir los

ladrillos de la estructura por botellas rellenas de tierra que permite dar firmeza a la edificación.

7. Ecoist: este emprendimiento del año 2004 busca desarrollar productos innovadores con materiales reciclados (envolturas, paquetes, etiquetas) como plásticos y se diferencia de otras marcas debido a que por cada una de sus ventas colaboran con el medio ambiente al sembrar un árbol.
8. Camisetas para futbolistas: la multinacional Nike en pro del cuidado ambiental, reutiliza plásticos desechados para la creación de algunas camisetas de futbol. El proceso se basa en derretir 7 a 18 botellas para convertirlo en hilo fino y así pasar a la manufactura de las mismas.
9. Fundas de laptop: desde México la empresa Unida busca apoyar el medio ambiente y los grupos vulnerables, a partir de la reutilización de desechos plásticos y otros materiales para el desarrollo de productos como estuches, monederos, mochilas y carcasas; con lo cual logran proporcionar herramientas para mejorar la calidad de vida.
10. Aulas para niños de África: UNICEF en asociación con la empresa colombiana Conceptos plásticos dieron inicio al proyecto que busca transformar los desechos plásticos en aulas donde puedan tomar clases los niños de Costa de Marfil. Al hacer uso de todos los plásticos obtenidos de rellenos y zonas de basuras, se busca construir 500 salones para los estudiantes. Hasta el momento se lleva un total de 9 aulas completadas, pero se espera que cuando la fábrica logre su tope funcional se puedan reciclar 9600 toneladas de plástico al año, lo cual permitirá avanzar en el desarrollo de las estructuras.

Información recopilada del informe plastic waste del grupo The Alliance to end plastic waste (The Alliance, 2021)

3.3.6 Impresión 3D a partir de residuos plásticos

Con el avance de las innovaciones tecnológicas y la necesidad de reutilizar los desechos se ha integrado la impresión 3D cuya materia prima son los residuos de plástico, con lo cual se cumple

el refrán que dice, la basura de una persona es el tesoro de otra. El proceso que se recrea para esta industria se centra en limpiar, triturar, secar y convertir los residuos de plástico en materia prima para las impresoras.

El reciclaje distribuido o fabricación aditiva DRAM se basa en recoger los residuos, clasificarlos y limpiarlos, triturar los residuos en trozos más pequeños de plástico similares a los pellets, posteriormente extruir los trozos en filamentos para que se puedan introducir directamente en las impresoras por medio de una tolva, donde finalmente se imprime el producto. Gracias a este proceso, se han llegado a desarrollar una variedad de productos funcionales como lo son: muebles de playa, herramientas para la industria automotriz, podios olímpicos, cubos de basura, asientos, gafas de sol, vehículos de cero emisiones, espacios de trabajo como oficinas, piezas de armería, jarrones y artículos de catálogo, lámparas, etc. (Mejía, 2021)

3.3.7 Máquina dispensadora de comida para mascotas

La empresa Puggedon de Turquía, en búsqueda de satisfacer una necesidad social y a la vez colaborar con el cambio climático y contaminación ambiental, desarrollo unas máquinas en las cuales se pueden depositar botellas plásticas posconsumo o de vidrio y que en retribución del material reciclable, entrega comida para perros o gatos. Frente a este proyecto, varias compañías y empresas alrededor del mundo han acogido la idea, con lo cual se han dispuestos varias máquinas que colaboran y se integran a la iniciativa. (Revista Fem Patagonia, 2019)

3.3.8 Atrapaplásticos en el océano

Debido a la contaminación en exceso que se presenta en los océanos y mares por material plástico, el holandés Boyan Slat, desarrollo una trampa capaz de atraparlo, cuyo sistema en forma de U busca acaparar la mayor cantidad de residuos que flotan. El proyecto financiado por Peter Thiel cofundador de PayPal, se centrará en disponer 60 de estos artefactos para que en el transcurso de 20 años se logre recolectar la mayor cantidad de esta basura flotante, la cual se ira recogiendo a medida que se alcance el tope de recepción del sistema, para enviarlo finalmente a reciclar. (Revista Fem Patagonia, 2019)

3.3.9 Economía circular para plásticos

El punto central por el cual se rige la economía circular dirigida a la industria polimérica es reconocer el valor e importancia que recae sobre los plásticos como un recurso de alta necesidad, los cuales no necesariamente deben afectar o llegar a impactar en el clima. Justo en este planteamiento nace la necesidad de una transición por parte de la asociación empresarial Plastics Europe para integrar en todas sus acciones una economía de carácter circular. (Plastics Europe, 2022)

Debido a que es de vital importancia implementar cambios para contrarrestar problemáticas actuales y encabezar los proyectos a la circularidad, la asociación ha optado por aprovechar las nuevas tecnologías con el objetivo de aumentar de manera notoria la reutilización y el reciclaje, esto a partir de la creación de productos más fáciles de reciclar y a su vez técnicas de reciclaje innovadoras. Por otro lado, se está reforzando el marco regulatorio y las diferentes políticas del sector con el fin de promover el reciclaje químico y la recolección por reciclaje mecánico, estimulando la inversión y el crecimiento de los mercados de materias primas secundarias.

Gracias a este concepto de economía circular y sus acciones se logra evitar la disposición en vertederos, la incineración y contaminación oceánica; pero nada de esto llega a feliz término si se omiten medidas adicionales como: detener la pérdida de gránulos en cada una de las operaciones de producción, eliminación adecuada de desechos plásticos en la etapa de posconsumo para facilitar la recolección y la interiorización misma de conciencia a nivel industrial y social de la forma correcta de actuar. Sin embargo, la economía circular de los plásticos no se trata solo de los residuos. Si bien la eliminación de fugas y el mayor uso de materiales secundarios es una parte del panorama, el adoptar de manera general materias primas renovables logra completar el panorama. (Plastics Europe, 2022)

3.3.10 Neutralidad Climática

La industria de plásticos contribuye a la reducción de CO₂ debido a que se le puede atribuir la reducción de consumo energético y emisiones derivadas de los sectores de construcción y transporte (ejemplo de ello la impresión 3D). De igual manera, con los aportes que brinda esta industria, la transición de combustibles fósiles a energías renovables cobra fuerza mediante el uso de vehículos eléctricos, paneles o celdas solares y los innovadores aerogeneradores. Como

muestra de ello, la compañía Plastics Europe le apuesta a la reducción del impacto climático en cada una de sus operaciones, al diseñar procesos productivos eficientes en lo que respecta a energía y los recursos envueltos en el mismo, al usar materias primas que proceden de residuos y recursos renovables; y logrando la captura carbono liberado, en colaboración de energías renovables. (Plastics Europe, 2022)

3.3.11 Intervención de los plásticos en los ODS

Bien se sabe, que los plásticos en las últimas décadas han sido los antagonistas para el cuidado medio ambiental, pero en función del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y las nuevas innovaciones tecnológicas, se pueden resaltar grandes avances que dan merito a esta industria.

Al hablar del objetivo 3, salud y bienestar, el cuidado y la seguridad de nuestro cuerpo son conceptos que van de la mano, y debido a que se busca salvaguardar la seguridad del consumidor, en la industria se han implementado regulaciones estrictas que se han de cumplir antes de que un producto plástico llegue o ingrese al cuerpo. Por otra parte, los plásticos han favorecido desde un punto de vista de innovación medicinal a alargar la vida y que las personas lleven una vida más saludable, como muestra de ello, hoy en día podemos encontrar bolsas de transfusión de sangre, equipos de protección personal, catéteres flexibles, capsulas que dispensan el medicamento de manera controlada, entre otros. La pandemia del covid-19 nos ha demostrado la importancia y lo esencial que es este material para sectores que van desde protección de alimentos hasta medicina, ya que pueden ayudar que en nuestra vida cotidiana contemos con entornos seguros e higiénicos para contribuir a la sostenibilidad y la economía circular. (Plastics Europe, 2022)

En lo que respecta al objetivo número 9, industria, innovación e infraestructura, cabe resaltar el crecimiento que ha tenido la industria colombiana del plástico para el año 2021 con un crecimiento del 22,2% en relación al año anterior, lo cual se debe en gran medida a la necesidad de artículos de este estilo desechables que permiten tener condiciones de higiene e inocuidad para combatir el virus de la pandemia del Covid. Así mismo, se sabe que el país cuenta con un aproximado de 3600 empresas de este sector que, pese a la gravedad de la pandemia, siguen

dando cifras positivas. Por otra parte, en relación a los insumos del inicio de la cadena productiva como resinas, el procesamiento de las mismas llegó a registrar en 2020 un total de 1,33 millones, y se presenta un óptimo crecimiento del mercado de exportación de resinas plásticas ya que crecieron 68% en valor y 4% en toneladas. Según Acoplásticos, de la cantidad total de materias plásticas producidas, más de la mitad se manda a mercados externos, como base de esto, es que para el año 2020, el 56% del tonelaje total se basó en exportaciones directas de resinas (La República, 2021)

3.3.12 Intervención en los plásticos de un solo uso

Mediante un comunicado oficial proveniente del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo, la UE acordó prohibir los plásticos de un solo uso para el año 2021, con lo cual se buscó retirar artículos como platos, cubiertos, pitillos y demás artículos segregados a la misma definición. Bajo este acuerdo, todos estos residuos que tenían como punto final de aglomeración mares u océanos y que tardan cientos de años en degradarse y desaparecer, generaban una situación de insostenibilidad, que en cifras por contaminación ascienden a los 22.000 millones de euros para el año 2030 y un total de 3.4 millones de toneladas de CO₂. Es por esto, que este acuerdo de prohibición, además de reforzar el principio de quién contamina paga, brinda la seguridad de contar con el reflejo de una sociedad más consciente sobre el problema ambiental que existe. (National Geographic, 2018)

Se destaca así mismo, que esta medida no solo fue acogida por territorios europeos, sino que se desplazó a todos los continentes, en donde varios sectores apoyaron la medida para combatir la contaminación en el mundo por plásticos, enunciando que el país que compete para este caso como lo es Colombia, de igual manera se integró a los países que promueven su intervención directa para reducir la producción.

3.3.13 Foro LR, plástico y sostenibilidad

Bajo este foro, planteado para el territorio nacional, se presentó el panorama del mercado del país y retos a futuro. En este evento el presidente ejecutivo de Acoplásticos, el señor Daniel Mitchell expuso que al tener una industria tan fuerte e indispensable como es la de plásticos, es de vital importancia focalizar los esfuerzos en la sostenibilidad de los materiales. En la

actualidad, el país está transformando más de 300.000 toneladas de residuos plásticos al año y lo que se busca frente a esta cifra es triplicar la cantidad, para llegar a una tasa superior que genere más oportunidades de ingresos y empleo. (La República, 2021)

Para lograr este propósito, se propuso dinamizar el mercado bajo tres focos establecidos por el gremio, en primer lugar, generar una regulación que incentive el aprovechamiento de los residuos posconsumo, en segundo lugar, que se dé un mejor tratamiento de los residuos plásticos y finalmente fortalecer la conciencia de los ciudadanos para brindar una disposición final adecuada.

Por otra parte, la directora de asuntos ambientales sectoriales y urbanos del ministerio de ambiente, Andrea Corzo, destacó la estrategia que está llevando a cabo para proyectar una economía circular para la gestión sostenible de los plásticos de un solo uso. Se quiere lograr que para el año 2030, la totalidad de plásticos de un solo uso sean de carácter reutilizable, reciclables o compostable. (La República, 2021)

En cuanto a la intervención del director del Icipc, Iván Darío López, señaló la creación de aplicaciones que brindan apoyo a recicladores y sectores de ecodiseño con la finalidad de entrar en la búsqueda y adaptación de la circularidad, todo esto en conjunto con el trabajo en equipo de los actores que componen la cadena productiva, gremial e industrial. (La República, 2021)

Finalmente, se puede incluir como conclusiones del foro, la búsqueda de regulaciones y productos condicionados a facilidad de recuperación, reducción de plásticos de un solo uso, pedagogía para incentivar la cultura ciudadana, inversión tecnológica que motive la innovación y la aplicación de regulaciones firmes y duraderas.

3.3.14 Empresa Engel

Tras analizar las 50 empresas más sostenibles y evaluar el compromiso de las diferentes empresas industriales conscientes del cambio climático en el mundo. La empresa Engel llegó a ser la única empresa fabricante de maquinaria para la producción de plásticos que ha pasado a ser parte de la meritoria lista. Cabe resaltar que la empresa centrada en máquinas de moldeo por

inyección, al estar en la constante búsqueda de la sostenibilidad optimiza sus procesos con la finalidad de reforzar el reciclaje y a su vez utilizar los diferentes recursos de manera más económica. A su vez, como factor diferenciador establece tecnologías de proceso que faciliten el desarrollo de productos plásticos sostenibles, reduciendo la huella de carbono en los mismos. Con estos grandes avances, Engel tiene la visión de cerrar los ciclos de materiales y asegurarse de que la gente alrededor del mundo utilice los plásticos de manera responsable. (TBD media group, 2020)

3.3.15 Energía renovable de plásticos

En el Reino Unido, investigadores de la universidad de Swansea encontraron una nueva aplicación para los plásticos una vez han cumplido su ciclo, específicamente en su etapa de reutilización para la fabricación de nuevos materiales. Debido a que todos los plásticos están constituidos en base a carbono, hidrogeno y minoritariamente oxígeno, al presentarse en alta pureza estos elementos se pueden llegar a descomponer y reorganizarse su disposición selecta para crear nanotubos de carbono como nuevo material de alto valor. Estos nanotubos de carbono se caracterizan por sus propiedades físicas increíbles, por lo cual puede conducir calor o electricidad en su estructura diminuta. Entre sus aplicaciones se encuentra hacer películas conductoras, tejidos electrónicos, antenas para red 5G o en caso especial para evitar descargas eléctricas para las naves espaciales de la NASA. Finalmente se expone la ventaja de que estos nanotubos pueden resolver el problema de sobrecalentamiento y falla que presentan los cables de electricidad, por los cuales se llega a perder el 8% de la electricidad en transmisión y distribución alrededor del mundo. (World Energy Trade, 2019)

3.3.16 Proyecto Zero Plastics

Con una inversión de 2,6 millones de euros se busca que varias compañías y empresas del sector de Navarra en España, busquen soluciones para desarrolla envases sostenibles para la industria agroalimentaria, esto debido a que la totalidad de envases que usan estas empresas están fabricados con materiales plásticos que no son biobasados y peor aún no llegan a ser biodegradables. En base a esto se propone el objetivo de encontrar una alternativa sostenible para resolver el grave problema medio ambiental, apoyando sus estrategias en el reciclado. (Diario de Navarra, 2022)

Entre las posibles medidas, se tiene en cuenta el uso de cartón con recubrimientos biodegradables y reciclables, con lo cual se pueda aislar el alimento de manera adecuada e inocua. Este proyecto que nació en abril de 2021, tiene como meta llegar a feliz término en diciembre de 2023 y se centrara en trabajar criterios de sostenibilidad como análisis de ciclo de vida, ventajas técnicas, bajo coste energético y sin uso de una inversión extra. (Diario de Navarra, 2022)

3.3.17 Trust, sostenibilidad a futuro

La marca integral de accesorios para el estilo de vida digital, en vista de su gran crecimiento, quiere aportar su grano de arena para reducir el impacto medioambiental al ofrecer productos y embalajes más sostenibles. Como resultado de esta determinación, internamente la empresa ha creado una serie de políticas y objetivos lideradas por la tarea de reducir su huella de CO₂. Como resultado directo, la marca Trust redujo en un 37% el uso de plásticos para el proceso de embalaje en el año 2021 e hizo el lanzamiento de su nueva línea llamada Clevergreen, la cual es integrada por productos 100% sostenibles. (Trust, 2021)

Así mismo, en la búsqueda de lograr alcanzar los objetivos estipulados en el Acuerdo de París, la compañía fijó 3 objetivos ligados a los ODS de la ONU. El primero de ellos es integrarse completamente dentro de la economía circular para el año 2040 (reciclaje, eliminación y reducción), el segundo objetivo es reducir las emisiones a cero para el año 2030, y finalmente, contribuir a los ODS a partir de la incorporación de herramientas y metodologías que favorezcan el desarrollo de los empleados, su salud y bienestar. (Trust, 2021)

4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Los plásticos biodegradables, aunque no llegan a ser la alternativa idónea para solucionar la producción, consumo y contaminación que se presenta actualmente, ya que la fórmula correcta a aplicar sería la reutilización y el reciclado; si son una opción válida mediante la cual se puede ir avanzando al cuidado y reducción de problemas medioambientales y lucha contra el calentamiento global. Sin embargo, como toda medida llega a presentar ventajas y desventajas bajo las cuales se puede estructurar un panorama general de lo que es esta tendencia actual.

4.1 Ventajas

- Las emisiones de carbono se reducen: los procesos productivos envueltos en el desarrollo y fabricación de plásticos biodegradables emite muy poco carbono al aire, favoreciendo directamente la reducción del calentamiento global y efecto invernadero. Al año en promedio se emiten 500 millones de Ton de CO₂ del consumo de casi 100 millones de Ton de plástico, pero gracias a la producción y uso de bioplásticos se genera 0,8 Ton de carbono por Ton, emitiendo un 68% menos de gases de efecto invernadero en el proceso productivo.
- Reducción del consumo de energía y petróleo: para la obtención de estos productos se requiere mucho menos petróleo que el utilizado para plásticos derivados de hidrocarburos, ya que en su sistema productivo solo hace falta de elementos naturalmente biodegradables como hierba de mimbre o de maíz. De igual manera, la reducción de la energía requerida es considerablemente notoria, para generar la misma cantidad y calidad que plásticos derivados del crudo se llega a consumir 65% menos de energía
- Disminución del tiempo de degradación: al hacer uso de enzimas y químicos especializados, se logran tiempos récord de degradación traducidos en un plazo de tres a seis meses para biopolímeros que equivale a una reducción de alrededor del 99.9% del tiempo para plásticos convencionales.
- Disminución de contaminación en vertederos por residuos: de los 32 millones de Ton plásticas que se generan, solo el 9% se recicla, la diferencia se suele depositar en vertederos.

Gracias a los plásticos biodegradables se logra dar solución a la problemática, ya que la absorción directa del suelo los transforma en compost, permitiendo la disposición de los terrenos para otros fines.

- No liberación de químicos ni toxinas: el carbono, metano y otros agentes químicos quedan atrapados en plásticos convencionales que se liberan en su degradación o quema, lo cual llega a contaminar la atmosfera; por otro lado, los bioplásticos no emiten estas sustancias ni contaminantes debido a su naturaleza
- Descomposición natural: los elementos que constituyen los plásticos biodegradables se acoplan al suelo y entorno natural bajo el que se degradan, permitiendo ser una fuente de abono natural que metabolizan los microbios y favoreciendo el medio ambiente.
- Innovación: se puede generar una unión con polímeros que contengan moléculas de petróleo para generar cadenas más fuertes y reducir los combustibles fósiles a utilizar.
- Facilidad de reciclar: son de fácil reciclado, con lo que se logra un ahorro neto de carbono del 30% al 80% según sea la frecuencia con que se haga anualmente. Sin embargo, se debe evitar su mezcla con plásticos tradicionales.
- Crecimiento en la industria: esta industria ha logrado valorizarse a más de 350 millones de dólares, lo cual permite generar nuevas oportunidades de negocio alrededor del mundo, comercializando productos que ayuden al cuidado del medio ambiente.

Información recopilada de Bioplastic: A better alternative to plastics (Ludhiana, 2014)

4.2 Desventajas

- Altos costos de fabricación: sus costos de producción ascienden en un 50% a comparación de los plásticos tradicionales

- Separación adecuada: su degradación se da de manera eficaz en el medio ambiente, sin embargo, se debe concientizar a la gente de la forma adecuada de separar bioplásticos de plásticos convencionales, ya que al no hacerlo genera afectaciones en los vertederos
- Requisitos para el compostaje: su conversión a abono requiere de equipos compostadores industriales que no se encuentran en todos los países, por lo cual si no se cuenta con la maquinaria adecuada no se lograrán los resultados previstos.
- Condiciones climáticas: la temperatura y humedad juegan un papel importante, ya que en climas fríos los procesos de degradación o compostaje son más lentos, igual ocurre en entornos con humedad excesiva, por lo cual se acarrea una planificación más estructurada para países con estas condiciones.
- Uso de productos químicos: al tener como materia prima elementos agrícolas producidos en granjas, se suele dar la intervención de insecticidas, herbicidas y demás productos químicos rociados sobre los cultivos que contaminan las zonas circundantes y a su vez pueden alterar el producto final.
- Complejidad en el reciclaje: ya que no se debe mezclar con plásticos tradicionales, al realizar este cruce de moléculas genera una desventaja ligada a la incapacidad de reciclar el resultante híbrido, debido a que las tecnologías actuales no permiten realizar el reciclaje y se debe adaptar plenamente a vertederos donde no es tan óptimo el resultado.
- Tierras de cultivo: al tener como medio de desarrollo la agricultura para materias primas, se requerirán zonas extensas para la fabricación de los alimentos a usar, generando problemáticas en países subdesarrollados por la adecuación de áreas, que a su vez recae en el consumo y posibles escases del recurso hídrico.
- No resuelven la contaminación oceánica: este tipo de plásticos biodegradables pese a que logran descomponerse en periodos de tiempo menores, no logran una degradación adecuada en contacto con el agua del océano, es así que, si se llegan a desechar en las costas,

terminaran flotando y afectando de igual manera a estos ecosistemas y todos los seres vivos que habiten en él.

Información recopilada del artículo A review: Investigation of Bioplastics (Bezirhan and Duygu, 2015)

4.3 Criterios y puntos clave para el éxito

4.3.1 Divulgación de la información

Al hacer pública la información y pasar de voz a voz todos los hallazgos relacionados a los plásticos, como la contaminación generada, sus tipos de degradación y tiempos de degradación, ha ido permitiendo la identificación por parte de la ciudadanía de los graves daños progresivos que ha delegado la industria polimérica. Por lo cual, al manejar las mismas plataformas para la propagación de información, ya sea la creación de foros, capacitaciones, informes, videos o demás material documentado, se está logrando sensibilizar y concientizar a la población en general sobre las medidas y acciones que de manera individual se deben instaurar para ir colaborando con el cuidado medio ambiental, sin tener que llegar a medidas de la eliminación total de los plásticos.

4.3.2 Educación ambiental

En búsqueda de la conciencia ciudadana, los continuos procesos de educación formal reforzados en las practicas pedagógicas, han permitido que en la sociedad se instauren y arraiguen conocimientos necesarios para el manejo adecuado que se le debe dar a los desechos plásticos, elementos que se ligan directamente a una separación adecuado desde casa y por otro lado al consumo responsable de los mismos. Bajo estas experiencias se pueden identificar variables como: la formación docente (los cuales propagan e inculcan el conocimiento en entidades públicas y privadas como pilar fundamental), problemáticas ambientales (huella de carbono, cambio climático, enfermedades por bioacumulación, entre otras), integración de comunidades, manejo y medidas para los plásticos de un solo uso, reutilización de plásticos desde el sector ciudadano hasta el corporativo, liberación de microplásticos y el cuidado que se ha de tener para no incinerar este tipo de materiales. (Sánchez, Bustos and Reyes, 2021)

4.3.3 Valorización de los residuos

Al hablar de la valorización de los residuos plásticos, se hace referencia a aquellos desechos que tras cumplir su función original y estando en etapa de posconsumo, se les aplican una variedad de procesos (reciclado, recuperación, reutilización) con el fin de optimizar sus características para brindarles un nuevo valor y aporte para su ciclo de vida.

Este tipo de valorizaciones benefician al medio ambiente al reducir la cantidad de residuos que llegan a los vertederos y por otro lado abre las puertas para nuevas oportunidades en el sector, como plazas de trabajo, ampliando la economía e ingresos en donde se instaure. Llevando la ideología de que residuo es lo mismo que recurso, se debe hacer el estudio que consta de 3 etapas, análisis de la situación inicial, caracterización del residuo y estudio de la posibilidad de valorización. Cabe resaltar que existen en la actualidad dos categorías, las cuales son valorización energética y valorización de materiales sólidos. La energética que procede de la incineración para el combustible sólido recuperado (CSR), que presenta la ventaja de reducir las emisiones de CO₂, y la de materiales sólidos que, al gestionar los residuos de plástico, vidrio o papel, se logran obtener nuevos materiales con lo cual se evita la utilización de nuevas materias primas. (Bravo, 2014)

Como modelo de ello en la industria que compete, debido a que los residuos sólidos de envases y embalajes más abundantes son los poliolefinicos, polietileno y polipropileno. En esta última década ha aumentado la valorización energética de poliolefinas en base al craqueo térmico de polietileno, gracias al proceso Wacker modificado con el fin de obtener 2-metil cetonas para reingresarlos al sistema de producción industrial. (Bravo, 2014)

4.3.4 Separación en la fuente

Un elemento que suele ir de la mano con la educación ambiental y por ende de la divulgación de la información es la gestión integral de residuos sólidos. Bajo este término se agrupan las diferentes actividades relacionadas al manejo de los flujos de residuos en la sociedad. Es destacable entonces, que a principio del nuevo milenio el país no contaba con un sistema de disposición final controlado. Sin embargo, al ministerio de medio ambiente se emite una política nacional para establecer la responsabilidad del generador sobre los residuos producidos,

estructurado en incrementar el aprovechamiento y mejoramiento de sistemas de tratamiento, minimización de generación de residuos y mejoramiento de calidad de vida para recicladores con el apoyo de la participación ciudadana al propiciar una disposición final adecuada. (Briganti, Díaz and Vergara, 2003)

Bajo este contexto general, la separación en la fuente de generación ha permitido obtener materiales recuperados de mejor calidad, incrementando a su vez el valor económico ligado a los mismos, en segundo lugar, permite optimizar el aprovechamiento, mejorando las condiciones de trabajo y requerimiento de esfuerzo menor para los recolectores. (Briganti, Díaz and Vergara, 2003)

4.3.5 Evitar productos desechables

Los plásticos de desecho o de un solo uso, por su naturaleza son lo más problemático para el planeta, más que el material del que están hechos. Al estar destinados a ser eliminados inmediatamente después de su uso. En base a esta premisa, se han unido esfuerzos desde gran variedad de países hasta corporaciones y empresas del sector para adoptar un enfoque de ciclo de vida, encaminado a eliminar gradualmente estos plásticos bajo alternativas reutilizables. Optando por medidas rentables, como el permitir que los consumidores usen sus propias bolsas o contenedores para ahorrar en gastos de suministro, metodologías de multiuso, las cuales dicen que cuando el consumidor no puede evitar los plásticos desechables, deben mitigar su impacto al reutilizarlos cuantas veces sea posible; diseño de productos que se enfoquen en la circularidad y análisis de requisitos de producción basado en cuestiones geográficas y de contexto social. (UN Environment Programme-UNEP, 2021)

4.3.6 Mejoras en los procesos de compostaje

Desde la implementación de lo que normalmente se conoce como el proceso de reciclado de la fracción orgánica (compostaje), se ha empezado a instaurar en los productos sellos específicos como distintivo de garantía ambiental para los diferentes materiales compostables. Bajo la identificación de los plásticos con el “OK compost” supone la característica especial de que estos productos se desintegran en un determinado plazo bajo las condiciones de una planta de compostaje. (European Bioplastics, 2022)

De igual manera, la asociación europea de plásticos, exige el certificado de producto bajo las normas 13432, la cual establece los requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación, y la norma 14995 la cual determina la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. (European Bioplastics, 2022)

4.3.7 Reciclaje completo

Una de las estrategias de mayor valor y aporte que se tienen hoy en día es directamente el reciclaje de plásticos. Con ello se está logrando un consumo menor de las cantidades de materias primas para diferentes procesos productivos hablando a nivel industrial y mayor cuidado de los recursos naturales y energéticos no renovables. Con la finalidad de evitar que se agoten en los próximos años. Así mismo, permite liberar menos emisiones de CO₂ lo cual reduce el efecto invernadero y puede aportar en la generación de energía por su capacidad calorífica. (Organización de las Naciones Unidas-ONU, 2021)

4.3.8 Materiales de origen natural

Pese a que no es sencillo un cambio directo a materiales amigables con el planeta, debido a nuestra conexión directa y necesidad de resinas sintéticas. Hoy en día se está aplicando y expandiendo la estrategia que se caracteriza por hacer uso de materiales tradicionales como el cristal, papel, metal, elementos cerámicos y comprar alimentos a granel en vez de que estén envasados. (OpenMind BBVA, 2021)

Ejemplo de ello es la conservación de alimentos, lo cual ha dado un cambio verdaderamente importante, al optar por el uso de recipientes de vidrio en lugar de los tradicionales topper plásticos, y más aún los envases plásticos de agua, ya sean los conocidos botilitos o botellas de agua que se renovaron a envases de vidrio para la venta al público general, apareciendo marcas de renombre como Mineral, Nacimiento o Cristal; y en relación al reenvasado para uso diario la producción de botellas de aluminio, las cuales presentan la ventaja de ser ligeras, resistentes a los golpes y tracción mecánica, protegiendo el líquido contra la luz y la humedad. (OpenMind BBVA, 2021)

4.3.9 Reducción y eliminación

Gran variedad de campañas mediáticas ha brindado las herramientas y consejos para reducir al máximo el consumo de plásticos y llevar un conteo estimado de la huella personal de plástico. Es así como se logra dar un acercamiento progresivo a la idealidad de vivir sin plásticos, eligiendo opciones mayoritariamente de origen natural. Por otra parte, bien se sabe la prohibición inicialmente de bolsas de un solo uso, que posteriormente se extendería a la mayoría de plásticos, aprobando así legislaciones similares en variedad de ciudades y países que se adhirieron al veto. Gracias a esto 90 países ya han impuesto prohibiciones al desarrollo y uso de plásticos de un solo uso y se registran 170 países comprometidos a reducir sustancialmente el uso de plásticos para 2030. (OpenMind BBVA, 2021)

4.3.10 Análisis de ciclo de vida

También conocido como el ACV, es una metodología que ha permitido entender la cadena de valor del plástico y su interacción con el entorno a lo largo de su ciclo de vida, con lo cual se logra implementar una variedad de acciones que se enfocan en la protección del medio ambiente. En este sentido, la empresa mexicana Braskem Idesa, la cual produce polietileno de alta y baja densidad, hace uso de el ACV para evaluar los impactos ambientales a lo largo de su cadena productiva y de valor, desde la extracción inicial hasta la entrega final del producto liberado. Recaudando y estimando información relacionada a la conexión del producto con elementos como el agua, aire, suelo y demás recursos naturales. (Braskem Idesa, 2022)

Con la variedad de metodologías y estrategias expuestas, se ha buscado dar cumplimiento a la variedad de objetivos del desarrollo sostenible relacionados previamente mencionados u optar por un acercamiento a la visión de los mismos. Por lo cual se pueden enunciar los siguientes logros y puntos clave que propician su éxito actual:

- Se ha mejorado la calidad de vida de las personas a partir de implementos e insumos derivados de la industria plástica, los cuales permiten alargar los años de vida de un ser humano bajo la conexión directa con el sector de la medicina, enfrentando enfermedades o afecciones que previamente no tenían solución

- Se han reducido los agentes químicos más contaminantes y de mayor alteración a las fuentes hídricas, mediante sistemas de producción y productos más eco amigables, a la par de reforzar las regulaciones y normativas de disposición y separación final; con lo cual se logra mejorar la calidad del agua y demás cursos hídricos. De igual forma, se han optimizado los niveles de consumo del agua para reducir el estrés hídrico arraigado de la producción en masa, llegando a disponer mayores cantidades para el consumo humano, que llega a ser una necesidad básica de mayor interés.
- En cuanto a la parte de innovación e infraestructura, gracias a la apertura de nuevos mercados proyectados por el notorio aumento de inversiones dentro del sector y la tendencia a desarrollar productos nuevos que contaminen menos, se ha logrado la participación de nuevos países, ya sea por sus recursos hídricos, desechos, mano de obra o inversión de capital; permitiendo un crecimiento sumamente amplio de la industria polimérica a escala mundial.
- Punto que relaciona a productores y consumidores por igual, es la reducción del consumo de plásticos de un solo uso, para movilizarse a aplicar tendencias relacionadas a las 3R, en donde se está estableciendo una economía de carácter circular, que se soporta en la producción de productos de fácil reciclaje y la armonización de la conciencia ciudadana para completar los eslabones de la circularidad y la sostenibilidad.
- En términos de acción por el clima, con el cambio de las predisposiciones por quema indiscriminada de llantas, reducción de consumo energético en la producción de plásticos, búsqueda de activación y puesta en funcionamiento de energías renovables, reducción y manejo responsable de sustancias químicas tóxicas, separación adecuada en la fuente y reducción de rellenos sanitarios al reutilizar elementos vitales de producción; se busca combatir la crisis medio ambiental como puntos efectivos que incentiven el equilibrio y cambio hacia un planeta habitable a futuro.
- Como último factor por enunciar, debido a que se establece una fuerte relación entre vida terrestre y submarina, con la reducción de desechos y residuos arrojados a los diferentes ecosistemas (retiro de las grandes masas de plásticos y acopio para futuros procesos) , que logran afectar la cadena trófica por el desprendimiento de microplásticos; se está logrando un éxito superior, el cual evita la extinción de especies y por el contrario permite la proliferación de ciertas especies nuevamente en la tierra.

En lo que concierne a los bioplásticos, como una de las innovaciones tecnológicas de mayor relevancia y que más aportan a las diferentes metodologías de carácter renovable aplicadas a nivel mundial, se logran identificar los siguientes puntos que referencian su éxito directo en el mercado y sistema productivo actual:

- Su éxito y uso actual se basa en la naturaleza de su producción, haciendo uso de materias primas orgánicas y fuentes renovables.
- Logran integrar los conceptos de reducir y reciclaje, en una industria que no contaba con estos precedentes, agregando el plus de que al degradarse se obtiene composta que aporta al sector agrícola
- Tiempos record de degradación con lo cual se evita excedentes de material de desecho.
- Reducen la liberación de sustancias toxicas y contaminantes en relación a su material polimérico predecesor.
- No incurre en procesos de incineración ni quema, liberando a la tierra de la carga prevista de gases que influyen sobre el calentamiento global.
- Están diseñados para desintegrarse por acción de microorganismos que lo utilizan como fuente de carbono
- Son una solución única para la acumulación de residuos solidos
- Sustitución directa de los plásticos de un solo uso
- Reducción del consumo energético para su producción, ostentando el cuidado de la energía no renovable
- Apertura de varios mercados a nivel mundial para la investigación y desarrollo de estos nuevos materiales, lo que radica en mayores oportunidades de empleo y ofertas laborales.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Al examinar la industria polimérica a nivel mundial, se logra identificar como los plásticos y polímeros cumplen un papel fundamental en la sociedad, al brindar gracias a sus múltiples propiedades una variedad de funciones y facilidades, haciéndolos así, uno de los materiales con mayor versatilidad que se encuentran a nivel industrial hoy en día. En base a esta premisa, se pueden encontrar en el mercado gran variedad de productos de plásticos sintéticos, que en su mayoría provienen del sector petroquímico, que, pese a sus extensos tiempos de degradación y alta contaminación ambiental, siguen siendo producidos en todo el mundo.

En cuanto a los mayores productores y líderes en el mercado global se identifica el continente asiático. Liderado por China como una potencia mundial en el sector, que rebasa exponencialmente otros territorios, obteniendo el 31% de la producción total del año 2019, producción mundial que alcanzó los 368 millones de toneladas de plástico; en este top de igual manera se logra encontrar el continente Europeo, con países como Alemania, Francia y España, y finalmente la región de Norte América, específicamente Estados Unidos, la cual se posiciona claramente debido a las grandes empresas multinacionales como Coca Cola, Pepsico y P&G, las cuales en conjunto llegaron a producir poco más de 6 millones de toneladas para el año 2020.

De igual manera, en referencia al párrafo anterior, se detectó, que aunque los países asiáticos son los mayores productores de plásticos de un solo uso, los países de Australia, Reino Unido y Estados Unidos logran encabezar el ranking en relación al consumo per cápita, al obtener un promedio de 50 kg, lo cual advierte, que aunque los continentes sean diferentes, las poblaciones de estos 3 países tienen tendencias similares en cuanto al uso en exceso de plásticos de un solo uso dentro de su vida diaria cada año.

Frente a los registros de producción anual recopilados, se logra identificar una tendencia de crecimiento exponencial desde el último siglo y continua para los últimos años, ya que tan solo en 2018 se registra una producción estimada de 300 millones de toneladas a nivel mundial y que, para el año posterior, 2019, aumenta en 68 millones de toneladas. Este crecimiento del 23%

permite advertir no solo la capacidad industrial con la que cuenta el mercado actualmente, sino la necesidad de control y gestión de residuos que se debe llevar a cabo, bajo técnicas de reutilización y reciclado adecuado.

Debido a la industria polimérica, la contaminación ambiental, calentamiento global y gases de efecto invernadero han ido en aumento. Conforme a varios estudios realizados por la ONU y empresas del mismo sector de plásticos, se sabe que cerca de 200 kg de plásticos son arrojados a mares y océanos cada segundo, cifra que asciende a 13 millones de toneladas al año, de los cuales el 15% se queda flotando, perteneciendo el 50% a los plásticos de un solo uso. A causa de esta exorbitante cantidad de residuos, extensos tiempos de degradación (ya que sus ciclos de vida pueden llegar a ser de entre un lustro hasta el milenio para lograr la degradación total dependiendo del tipo de plástico), y, la alta incidencia de sustancias químicas (puesto que el 50% de un plástico derivado del petróleo puede ser compuesto químico, ligando más de 3000 sustancias químicas a la industria); Los ecosistemas acuíferos y todas las especies que habitan allí, se están viendo sumamente afectadas, rondando un total de 1,5 millones de animales que mueren al año por los desechos y residuos plásticos.

Entre otros números a considerar, el sector de plásticos representa el 10% de las emisiones totales de los gases de efecto invernadero, siendo un participante puntual a tratar para evitar el aumento de temperatura, que sin duda alguna está afectando las condiciones óptimas de vida, al puntuar en 2°C para los últimos años. Por otro lado, 5 millones de bolsas previo a las medidas de plásticos de un solo uso se utilizaban cada año, lo que equivalía a un total de 200 bolsas de plástico por persona, referenciando así lo expuesto previamente, sobre el consumo per cápita desmedido que aún se presenta en varias zonas del mundo, que tan solo una medida drástica y eficaz, acompañada de las 3R lograra controlar, para equilibrar la balanza a lo que proponen los ODS.

En última instancia se define que tan solo el 9% de los plásticos usados se recicla, optando de mala manera el porcentaje nexo por su quema, liberación en rellenos o arrojándolos en fuentes hídricas. Del mismo modo se advierte que si se siguen con estas tendencias, para el año 2050 se tendrán más de 56.000 millones de toneladas de CO₂ por incineración; razón por la cual, para

reducir estos números, se deben hacer uso de los proyectos disponibles para el reciclado y reutilización de llantas, con lo cual se evita la generación de gases contaminantes por quema indiscriminada y se reduce a su vez las enfermedades presentes en los rellenos.

Gracias a las nuevas políticas de cuidado medioambiental, al implementarse los cambios necesarios para eliminar la producción y consumo de plásticos de un solo uso, las cantidades de elementos plásticos producidos que rondan han emigrado a niveles un poco menos dañinos, sin embargo, la contaminación por microplásticos es un factor crucial que afecta a animales y seres humanos por igual; estas partículas que se acumulan en mares, estuarios, playas y demás ecosistemas, debido a la degradación parcial de un plástico, están afectando la vida diaria de las personas y a su vez dañando la salud de los mismos. Se sabe que cerca de las costas se han encontrado de 3 a 30 kg/km² con dimensiones iguales o inferiores a los 5mm de diámetro. Lo que lleva a que hoy por hoy los microplásticos representen el 15% de las calorías consumidas por una persona común. Se han encontrado muestras de estas partículas en el agua de grifo, la sal de mesa y en la dieta básica de los peces lo cual afecta la cadena trófica en niveles nunca antes vistos.

Bajo la lupa del desarrollo sostenible, se instauro un análisis metódico y minucioso, que valida como se ha venido trabajando la transición de los plásticos sintéticos a nuevas tecnologías, conocidos como los bioplásticos. Este nuevo desarrollo de carácter biológico y natural, ha permitido la reducción de contaminación por gases, tiempos menores de degradación, reducción de energía para el proceso y una apertura del mercado global, ya que es un mercado que ha ascendido a más de 350 millones de dólares; a partir de aquí, se deben propiciar para las áreas de investigación y desarrollo inversiones que permitan seguir con la creación y estudio de los bioplásticos, con lo cual se logre sustituir las actuales industrias poliméricas basadas en el petróleo, para hacer frente a los problemas medioambientales previstos para el año 2050.

Hacer uso de Biopolímeros como el PLA, no solo refleja una innovación tecnológica de fácil degradación, sino que reduce los gastos energéticos en un 50% en relación a polímeros sintéticos como el PET y reduce en un 75% las emisiones de gases de efecto invernadero. Más aún, se deben seguir implementando biopolímeros producidos por microorganismos, en base a biomasa

o de carácter natural y experimentar con los mismos para lograr rutas de producción que reduzcan los porcentajes energéticos y costos a niveles sostenibles y factibilidad de producción para cualquier país.

Tal como se expone en el párrafo anterior, se enfatiza que la industria polimérica debe seguir avanzando por mercados que promuevan la producción del PHA, PCL, PEA y Copoliésteres, y que, de igual manera, se fomente la intervención de polímeros naturales, tales como las resinas, celulosa, caucho y látex, lo cual permita una sinergia de los diferentes elementos basándose en la responsabilidad empresarial hacia un mejor futuro.

Por otra parte, se plantean varias temáticas que durante la recopilación de información se estableció que no presentaban una solución o no se habían abarcado propuestas de los mismos, con lo cual quedan como punto a profundizar social e industrialmente. El primero de ellos, es que, con la inserción de los bioplásticos, no se logra resolver la contaminación por el uso de productos químicos para las materias primas desde el sector agrícola, así mismo, en su disposición final, ya que se sigue dando una mala separación, no se logra un reciclaje adecuado o peor aún, sus desechos se liberan a cursos hídricos lo cual favorece la contaminación microplástica, generando una degradación más lenta.

El segundo punto, se centra en que el caucho natural solo cubre el 1% de las necesidades del mercado, contando con una producción de 12 millones de toneladas, aun así no se logra hacer partícipe el caucho natural en otros sectores de la industria que requieran de las propiedades de este material; sin embargo con los proyectos enunciados de la reutilización de llantas usadas se puede plantear un búsqueda de elementos que cuenten con una composición similar para ampliar e integrar este material de carácter natural.

El tercer punto, radica en las grandes masas de basuras dispuestas en los océanos que en su gran mayoría son residuos y desechos de materiales plásticos, que llegan a afectar en su gran mayoría a animales de estas zonas, y que se vuelven foco de enfermedades y otras problemáticas medioambientales. Bajo esta circunstancia, la única solución a largo plazo que se esperaría es la

propuesta por el holandés Boyan Slat de los denominados atrapaplásticos, para ir removiendo de los océanos las conocidas islas flotantes.

Como cuarto y último punto, se enuncia que por parte de los grupos oxo- degradables, al darse su degradación se pueden liberar residuos metálicos con potencial toxicidad, que si se llegan a reciclar con polímeros comunes impedirán el reciclado adecuado cuando se torne el proceso de degradación. Por otra parte, los plásticos fotodegradables, presentan grupos sensibles a la luz, que al entrar en contacto con la luz UV iniciaran su proceso de degradación, pero se expone la problemática de que al dejarse en rellenos sanitarios la ausencia de luz generara que estos permanezcan como material no degradable. Y al hablar de semi-biodegradables, que cuentan con una cadena de azúcares unida a polietileno, el azúcar será degradado por bacterias pero el polietileno permanecerá como material no degradable.

Para concluir, durante la recopilación del análisis del desarrollo sostenible en la industria polimérica se lograron recabar varias estrategias entre las cuales resaltan los principios para implementar el sector de plásticos a gran escala (fuentes renovables, procesado de materiales optimizado, vida útil de materiales y gestión eficiente y responsable de residuos), implementación de las 3R (reducir, reciclar y reutilizar) y la jerarquía de actuación por la Unión Europea (priorizar la prevención de residuos, reciclado como valor energético y eliminación en vertedero),

Finalmente, se cierra resaltando la frase que dice: la basura de una persona es el tesoro de otra, y el que un elemento sea biodegradable no necesariamente disminuye su impacto ambiental, sino que depende en gran medida de su manejo. Lo que nos dice es que no toda la culpa recae sobre las grandes compañías y empresas productoras de plástico, sino que nosotros como consumidores debemos poner nuestro granito de arena y colaborar en el cuidado medioambiental, a partir de la buena clasificación en la fuente, la reutilización de los materiales y elementos factibles de ello, y la misma reducción de compra y adquisición de envases, bolsas y botellas si no es del todo necesario, para que así podamos permitir que las generaciones futuras cuenten con condiciones dignas mínimas para subsistir en el mundo que les vamos a dejar.

6. CONCLUSIONES

En base a la información recopilada a lo largo de la monografía, se establece que el sector de la industria polimérica colombiana cuenta con muy poca información que reseñe la interacción de la misma con el desarrollo sostenible, debido a que la información se limita principalmente a las medidas regulatorias tomadas frente a los plásticos de un solo uso, las proyecciones de ciclo de vida y algunos proyectos sobre el reciclado y reutilización de botellas, llantas o empaques plásticos; sin embargo se logra complementar con metodologías y proyectos a nivel mundial que reúnen tendencias y avances significativos de esta importante industria.

Se logra identificar un récord de producción de 368 millones de toneladas desde el año 2019, el cual ha venido en aumento para los últimos años, y que tan solo el 9% del total de residuos llega a reciclarse, estableciendo así la necesidad de medidas que favorezcan e integren la economía circular para este tipo de elementos. Por otra parte, a pesar de ser materiales y productos sumamente arraigados e importantes en la cultura actual, ya que llegan a facilitar la vida diaria, se observa que la contaminación generada por microplásticos, químicos tóxicos, Bioacumulación por ingesta, gases contaminantes y contaminación visual, llega a afectar poblaciones que ni siquiera hacen uso de los mismos, acabando con la vida de animales, seres humanos y ecosistemas completos.

Por medio de la búsqueda de estrategias y metodologías, se identificó la tendencia directa de bioplásticos a nivel biopolímero y biodegradable de origen petroquímico, con lo cual se busca no solo una degradación rápida y efectiva sino la creación de un producto compostable como fertilizante de salida. Análogamente se reconocen los polímeros naturales como un sector a enfocarse al no presentar contaminantes. Respecto a los proyectos y estrategias actuales se cuenta con una gran variedad de proyectos alrededor del mundo para reutilizar diferentes materiales plásticos y de la industria polimérica como botellas, envases, bolsas, llantas, entre otros; con la finalidad de brindar oportunidades a grupos de escasos recursos, creando no solo oportunidades de negocio, sino productos funcionales que cumplen necesidades básicas y del mercado de manera apropiada.

De acuerdo con las ventajas y desventajas encontradas para el uso de polímeros biodegradables, se observó que fueron más los aspectos positivos que los negativos, cabe resaltar que a pesar de que las desventajas fueron menos, estas cobran mayor importancia a la hora de analizar su implementación industrial. En relación a los puntos clave se consolidaron varios criterios que permiten el éxito de lo trabajado hoy en día. En primer lugar, frente a los bioplásticos, gracias a su naturaleza, tiempos de degradación, reducción de contaminantes y reducción de consumo energético, se posicionan como la mejor opción del mercado para combatir la contaminación y problemas medio ambientales. Y en relación a las estrategias, se sabe que cada uno de los proyectos brindan una solución a problemáticas reales que afectan a la gran mayoría de la población, logrando rutas óptimas sin incurrir en la generación de daños medio ambientales nuevos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bezirhan, E. and Duygu, H., (2015). *A review: Investigation of bioplastics*. Tech-green.com. Available at: <http://tech-green.com/wp-content/uploads/2018/08/A-Review-Investigation-of-Bioplastics.pdf>
- Bonillo, A., (2018). *Desarrollo de compromisos de liberación controlada con una poliésteramida derivada de L-Alanina, Padas*. Digibug. Available at: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/51120>
- Braskem idesa. (2022). *Evaluación del ciclo de vida*. Available at: <http://www.braskemidesa.com.mx/evaluacion-del-ciclo-de-vida>
- Bravo, M., (2014). *Valorización de residuos plásticos polietilénicos mediante un proceso tipo wacker modificado*. Burjcdigital.urjc.es. Available at: <https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/13240/TESIS%20MONICA%20BRAVO%20MARTIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Briganti, J., Díaz, A. and Vergara, I., (2003). *Lineamientos para la separación en la fuente de los residuos sólidos producidos por el sector residencial (estratos 4, 5 y 6) de la ciudad de Cartagena de Indias D. T Y C.* Documentacion Ideam. Available at: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005612/Proyecto/InformeFinalProyectoSeparacionenlaFuente.pdf>
- Bustamante, B., (2012). *La degradación de los plásticos*. Universidad EAFIT, Revistas Académicas. Available at: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>
- Cardona, L. and Sanchez, L., (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*. Available at: <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.udem.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F11407%2F375%2FAprovechamiento%2520de%2520llantas%2520usadas%2520para%2520la%2520fabricaci%25C3%25B3n%2520de%2520pisos%2520decorativos.pdf%3Fsequence%3D1&clen=1944027&chunk=true>
- Cepal.org. (n.d). *Acerca de Desarrollo Sostenible | Static Page | Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Available at: <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>

- Desarrollo Sostenible. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Diario de navarra.es. (2022). *Zero Plastics, el proyecto navarro que desarrolla nuevas soluciones de envasado mediante materiales sostenibles*. Available at: <https://www.diariodenavarra.es/noticias/negocios/dn-management/empresas-navarras/2022/01/19/zero-plastics-el-proyecto-navarro-desarrolla-nuevas-soluciones-ensado-mediante-materiales-sostenibles-514451-3380.html>
- Diario La República. (2021). *La industria del plástico le apunta a triplicar las cifras del reciclaje y la sostenibilidad*. Available at: <https://www.larepublica.co/empresas/la-industria-del-plastico-le-apunta-a-triplicar-las-cifras-del-reciclaje-y-la-sostenibilidad-3175613>
- Diario La República. (2021). *La industria del plástico creció 22,2% frente a 2020 en el primer semestre*. Available at: <https://www.larepublica.co/especiales/la-revolucion-del-plastico/la-industria-del-plastico-crecio-222-frente-a-2020-en-el-primer-semestre-3233461>
- Ecoplas. (n.d). *Degradación de los materiales plásticos*. Available at: <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>
- Ecoplas. (2020). *Qué son los Plásticos Biodegradables, Biobasados, Degradables, Oxodegradables, Compostables?*. Available at: <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fecoplas.org.ar%2F2016%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F06%2FPublicacion-54-Plasticos-Biodegradables.pdf&clen=3245817&chunk=true>
- Editorial Telediario. (2019). *Plástico biodegradable: lo bueno y lo malo*. Available at: <https://www.telediario.mx/tendencias/plastico-biodegradable-lo-bueno-y-lo-malo>
- El pais.com.co. (2014). *1,5 millones de animales mueren al año por plásticos en los océanos, dice experta*. Available at: <https://www.elpais.com.co/mundo/1-5-millones-de-animales-mueren-al-ano-por-plasticos-en-los-oceanos-dice-experta.html>
- El Tiempo. (2019). *¿Cuánto tiempo tardan los plásticos en descomponerse?* Available at: <https://www.eltiempo.com/historias-el-tiempo/cuanto-tiempo-tardan-los-plasticos-en-descomponerse-342568>

- Endplasticwaste.org. (2021). *These 'ecoboats' made from plastic waste are transforming fishing in Cameroon*. Available at: <https://endplasticwaste.org/es/our-stories/these-ecoboats-made-from-plastic-waste-are-transforming-fishing-in-cameroon>
- Estrada, R., (2020). *¿Por qué el plástico tarda tanto tiempo en degradarse?*. El Financiero. Available at: <https://www.elfinanciero.com.mx/el-preguntario/por-que-el-plastico-tarda-tanto-tiempo-en-degradarse/>
- European Bioplastics e.V. (2022). *Composting*. Available at: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/composting/>
- Flores, C., (n.d). *Ventajas y desventajas del material biodegradable*. Ecovidasostenible. Available at: <https://ecovidasostenible.com/ventajas-y-desventajas-del-material-biodegradable/>
- Fundación Aquae. (n.d). *5 alternativas a las bolsas de plástico convencionales*. Available at: <https://www.fundacionaquae.org/5-alternativas-a-las-bolsas-de-plastico/>
- Fundación Aquae. (n.d). *La Isla de Basura del océano Pacífico*. Available at: <https://www.fundacionaquae.org/alarmando-aumento-de-la-isla-de-basura/>
- Grate, F. and Fuhr, L., (2019). *'La crisis medioambiental por el plástico es grave y hay que actuar'*. El Tiempo. Available at: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/por-que-la-crisis-medioambiental-por-el-plastico-es-grave-436648>
- Greenpeace. (2019). *Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente*. Available at: http://chrome-extension://efaidnbmninnkjkpcjgclcfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fgreenpeace.co%2Fpdf%2F2019%2Fgp_informe_plasticos_colombia_02.pdf&clen=4899271&chunk=true
- Gutierrez, T., Chito, D. and Ochoa, G., (2019). *Polímeros: Generalidades y tendencias de investigación en Colombia*. Google Books. Available at: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=XoewDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=generalidades+de+los+polimeros&ots=PqRJJXhnQC&sig=LP6XbDzdQQIuUAnPnkGYbVlgq_Y#v=onepage&q&f=false
- Haiku Futon. (2010). *Que es el Látex natural, propiedades y características*. Available at: <https://www.haiku-futon.com/2010/06/latex-natural-latex-sintetico/>

- Heinrichs, S., (2018). *O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta*. Noticias ONU. Available at: <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>
- Hinojosa, A., (2012). *Síntesis y propiedades de poliesteramidas aromáticas basadas en DMT y 1,6-Aminohexanol*. Upcommons. Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/17623>
- Ludhiana, P., (2014). *Bioplastic: a better alternative to plastics*. Citeseerx.ist.psu.edu. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.684.9671&rep=rep1&type=pdf>
- Mejia, E., (2021). *Impresión 3D a partir de residuos de plástico: 10 proyectos exitosos*. – *IDEA161*. Idea161.org. Available at: <https://idea161.org/2021/09/29/impresion-3d-a-partir-de-residuos-de-plastico-10-proyectos-exitosos/>
- Meneses, J., Corrales, C. and Valencia, M., (2007). *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Scielo. Available at: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006
- Mesa, C., (2018). *Encuentro con la química*. Revista de la sociedad cubana de química. Available at: http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fhabana.qfa.uam.es%2F~dhernandez%2FRevista-SCQ%2Fassets%2Ffiles%2FEncuentro_con_la_Quimica_Vol4_No3.pdf%23page%3D9&cien=2982516&chunk=true
- Mexpolímeros. (n.d). *PBAT | Poly (Butylen Adipate-co-Terephthalate)*. Available at: <https://www.mexpolimeros.com/eng/pbat.html>
- National Geographic. (2018). *La UE acuerda prohibir los plásticos de un solo uso en 2021*. Available at: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/ue-acuerda-prohibir-plasticos-solo-uso-2021_13695
- News.un.org. (2021). *reciclaje | Noticias ONU*. Available at: <https://news.un.org/es/tags/reciclaje/video/0>
- OpenMind BBVA. (2021). *5 alternativas para un planeta sin plástico*. Available at: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/5-alternativas-para-un-planeta-sin-plastico/>

- Ortega, T., (2004). *Estudio de pre-factibilidad ambiental de mercado para plásticos biodegradables en Colombia*. Available at: <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepository.uniandes.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F1992%2F20898%2Fu245940.pdf%3Fsequence%3D1>
- Osswald, T., Aquite, w., Ramirez, D., Lopez, L., Puentes, J., Perez, C. and García, s., (2012). *Retos en la industria de procesamiento de plásticos y compuestos*. Dyna. Available at: <https://core.ac.uk/reader/25642280>
- Palou, N., (2021). *Los microplásticos que generamos llegan a la Antártida y entran en la dieta de los pingüinos*. La Vanguardia. Available at: <https://www.lavanguardia.com/natural/20210724/7621193/contaminacion-microplasticos-antartida-heces-pingueinos.html>
- Plastics Europe ES. (2022). *Sostenibilidad - Plastics Europe ES*. Available at: <https://plasticseurope.org/es/sostenibilidad/>
- Puentes, M., (2020). *Propiedades, métodos de síntesis y aplicaciones de la policaprolactona*. Repositorio Uniandes. Available at: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48915/u833567.pdf?sequence=1>
- R, M., (2021). *Infografía: ¿Qué países generan más residuos de plástico de un solo uso?*. Statista Infografías. Available at: <https://es.statista.com/grafico/25010/paises-con-la-mayor-cantidad-de-residuos-plasticos-de-un-solo-uso-generados/>
- Roa, M., (2020). *Infografía: Coca-Cola, la empresa que más contamina con sus plásticos*. Statista Infografías. Available at: <https://es.statista.com/grafico/22973/cantidad-de-envases-de-plastico-producidos-anualmente/>
- Roa, M., (2021). *Infografía: La producción de plástico en el mundo*. Statista Infografías. Available at: <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>
- Sánchez, P., Bustos, E. and Reyes, J., (2021). *La educación ambiental: problemática de los plásticos de un solo uso en las instituciones educativas*. Revista redipe. Available at: <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1253>

- Serrano, J., (2010). *Polihidroxicanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos.: Una solución frente a la contaminación del medio ambiente*. Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3702404>
- TBD MEDIA. (2022). *50 Sustainability & Climate Leaders*. Available at: <https://www.50climateleaders.com/>
- The Conversation. (2019). *La contaminación química del plástico, una amenaza silenciosa*. Available at: <https://theconversation.com/la-contaminacion-quimica-del-plastico-una-amenaza-silenciosa-116669>
- Trust. (2021). *Trust presents the 'Impact report 2020/2021', detailing its journey to a sustainable future*. Available at: <https://www.trust.com/ru/press/article/trust-presents-impact-report-2020-2021>
- UNDP. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD*. Available at: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- UNEP. (2021). *Cómo reducir el impacto de los plásticos de un solo uso*. Available at: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/como-reducir-el-impacto-de-los-plasticos-de-un-solo-uso>
- Valentin, J., Ortega, P., Posadas, P., Torres, A., Herrero, R., Muscas, F., Hernández, A., Fernández, A., Navarro, R. and Gonzalez, A., (2018). *Diseño y desarrollo sostenible de materiales poliméricos*. ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/323265790_Diseño_y_desarrollo_sostenible_de_materiales_polimericos
- Worldenergytrade. (2019). *Energía renovable a partir de plásticos reciclados*. Available at: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/investigacion/energia-renovable-a-partir-de-plasticos-reciclados>
- Zeaplast.cl. (2013). *ZEApplast : Plásticos biodegradables:tipos de bioplásticos*. Available at: <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/tipos-de-bioplásticos+-+21>

ANEXOS

- Pdp: plásticos derivados del petróleo
- PCL: Policaprolactona
- ROP: polimerización por apertura del anillo
- PEA: Poliésteramida
- ODS: objetivos del desarrollo sostenible
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- PHB: Polihidroxi butirato
- PHV: Polihidroxi valeriato
- PLA: Ácido Poliláctico
- PET: Poli Etilén Tereftalato
- NR: Natural Rubber
- PHA: Polihidroxi alcanoatos
- UV: Ultravioleta
- PBAT: Tereftalato de adipato de polibutileno
- IRD: Instituto de investigación para el desarrollo
- Tg: Temperatura de transición vítrea
- Tm: Temperatura de fusión