



Obtención de material a base de polipropileno para monturas de gafas

Paula Camila Alonso Hernández

Nicholl Stefhany Quintero Ovalle

Angie Mariam Rodríguez Jiménez

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá D.C.

Proyecto de grado

Ing. Liliana Margarita Meza Buelvas

19 de noviembre de 2021

Tabla de contenido

Resumen	6
I. Introducción	7
II. Planteamiento del problema	9
III. Objetivos	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos	11
IV. Justificación	12
V. Marco teórico	14
5.1 Información general sobre el polipropileno	14
5.2 Obtención de polipropileno	17
5.3 Contaminación por microplásticos	19
5.4 Gestión y aprovechamiento del polipropileno como residuo	24
5.5 Línea base de la investigación	32
5.6 Aspectos de la salud visual	44
5.7 Softwares utilizados para el diseño y fabricación de monturas de gafas	45
VI. Marco legal	47
VII. Análisis de requerimientos	48
7.1 Selección de la mejor alternativa	51
VIII. Análisis de restricciones	52
8.1 Ambientales	52
8.2 Sociales	52
8.3 Económicas	53
8.4 Capacidad de fabricación	53
8.5 Éticas	54
8.6 Salud y seguridad	54
8.7 Políticas	54
IX. Especificaciones de ingeniería	55
9.1 Equipos empleados durante el proceso para la obtención de montura de gafas	57
X. Dimensionamiento de los componentes	59
XI. Análisis de Costos	61
11.1 Proyección y costos a nivel industrial	61
XII. Prototipado	65

XIII.	Conclusiones	67
XIV.	Anexos	68
XV.	Referencias	69

Lista de Figuras

Figura 1. Molécula de propeno	14
Figura 2. Mecanismo de polimerización del polipropileno	15
Figura 3. Diagrama de bloque de proceso para proceso en suspensión	17
Figura 4. Diagrama de bloque para proceso en masa con monómero en fase líquida	18
Figura 5. Diagrama de bloque para proceso en masa con monómero en fase gas	19
Figura 6. Composición porcentual total de polímeros en el núcleo de hielo marino terrestre rápido utilizando métodos HP y PF.....	22
Figura 7. GWP neto y bruto de potencia a PP, por unidad de proceso y tipo de entrada de energía.....	24
Figura 8. Tecnologías disponibles para el reciclado.....	28
Figura 9. Diagrama de pirólisis para la recuperación de materia prima y combustible	29
Figura 10. Proceso de reciclaje mecánico	31
Figura 11. Curva termogravimétrica	33
Figura 12. Gráfico del modelo ajustado Muestra A y B.....	35
Figura 13. Propiedades mecánicas de las aleaciones PP / PE mezcladas usando MIX e ISTSP.....	36
Figura 14. Fotografía de una caja de plástico moldeado por co-inyección con capas de piel blanca y.....	39
Figura 15. Curvas de tensión-deformación media de las muestras (a) antes (0 días)	41
Figura 16. Curvas de tensión-deformación media de las muestras (b) después (30 días).....	41
Figura 17. PPre y sus compuestos	42
Figura 18. PPre y sus compuestos	43
Figura 19. Software Cubify Design	45
Figura 20. Impresora 3D Reprap Prusa I3 Diy Presición Alta Calidad 2015	46
Figura 21. Triangulo de möbius.....	55
Figura 22. Procedimiento para la obtención de la montura para gafas	56
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso para la obtención de montura de gafas	56
Figura 24. Procesador de sólidos y semisólidos.....	57
Figura 25. Horno eléctrico	57
Figura 26. Cabina de frio	58
Figura 27. Vista frontal.....	59
Figura 28. Vista lateral.....	59
Figura 29. Vista superior	60
Figura 30. Molde montura de gafas	65
Figura 31. Laterales de la montura para gafas.....	66
Figura 32. Parte frontal de la montura para gafas	66

Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del polipropileno.....	15
Tabla 2. Metodología para establecer la viabilidad de proyectos de aprovechamiento según decreto 2981 de 2013	27
Tabla 3. Normas generales sobre el manejo de residuos plásticos en Colombia	47
Tabla 4. Costos de producción.....	62
Tabla 5. Proyección a 5 años.....	62
Tabla 6. Inversión inicial	63
Tabla 7. Préstamo	63
Tabla 8. Flujo de caja.....	64
Tabla 9. Costos para la elaboración del prototipo	65

Resumen

El presente documento tiene como objetivo crear un material a base de polipropileno que pueda usarse para moldear monturas de gafas perfectamente útiles con el propósito de reducir la contaminación y darle un segundo manejo al plástico. La investigación se desarrolla bajo un diseño experimental, se recolecto empaques de alimentos elaborados en PP en la ciudad de Bogotá y se elaboró un molde en silicona acética. Finalmente se obtuvo el prototipo del marco de gafas con el material reciclado de PP logrando una montura rígida, cómoda y liviana para el cliente.

***Palabras clave:** Polipropileno, monturas de gafas, contaminación, plástico.*

Abstract

The present document aims to create a polypropylene-based material that can be used to mold perfectly useful spectacle frames for the purpose of reducing contamination and giving plastic a second handle. The research is carried out under an experimental design, food packages made of PP were collected in the city of Bogotá and an acetic silicone mold was made. Finally, the prototype of the glasses frame was obtained with recycled PP material, achieving a rigid, comfortable and light frame for the client.

***Keywords:** Polypropylene, spectacle frames, contamination, plastic.*

I. Introducción

La presente investigación se refiere al tema de obtener un material a base de polipropileno reciclado para crear monturas de gafas, este trabajo está motivado al ver la creciente contaminación por plásticos y micro plásticos en la actualidad. El plástico no se recicla a gran escala ni se recupera porque no es “rentable”, y continúa siendo más “económico” fabricarlo a partir de recursos no renovables, una parte del plástico producido cada año se utiliza para hacer artículos que se descartan al cabo de un año, indicando que el uso actual de los plásticos no es sostenible (Mayorga, 2020). Por este motivo nace la propuesta de utilizar empaques plásticos que en su composición tengan el polímero polipropileno y así incluirlos de nuevo en la economía circular bajo la filosofía Cradle to Cradle™.

La investigación a esta problemática se realiza por el interés académico y profesional bajo la premisa de cómo podemos usar nuestros conocimientos adquiridos en el pregrado de ingeniería química en la transformación de materiales dando solución a una problemática mundial como lo es la contaminación anteriormente mencionada. Para ello se hizo una búsqueda en artículos académicos que permitiera observar las distintas investigaciones que se están haciendo sobre como transformar la cadena polimérica del polipropileno en otros productos, accediendo al conocimiento de diferentes procesos, técnicas y metodologías a fin de desarrollar el material a base de polipropileno reciclado para crear monturas de gafas. Por lo tanto, una vez obtenido la base teórica, legal, haber hecho un análisis de requerimientos y restricciones que podría tener el producto se procede a la recolección de la materia prima que en este caso son empaques de comida que estén identificados con el número 5 en el triángulo de möbius, se recolectan alrededor de 35 a 40 unidades, se calientan hasta la temperatura de fusión del polímero y se procede a colocar en un molde con la forma de las monturas de gafas que se

elaboró previamente en silicona acética, se deja reposar para que el material obtenido se enfríe y consiga la forma deseada, finalmente se desmonta y se ensamblan las partes.

A lo largo de este trabajo hay quince capítulos, en los primeros cinco capítulos se recolecta toda la información pertinente y se plantea el problema a tratar, los objetivos que se desean alcanzar y se construye el marco teórico. En los capítulos siete, ocho y nueve se realiza un análisis de requerimientos y restricciones en la construcción del prototipo, así mismo se realiza un dimensionamiento de los componentes a usar y los costos totales para la producción del producto a nivel industrial en los capítulos diez y once respectivamente. Para finalizar en el capítulo doce, trece y catorce con la construcción del prototipo, las respectivas conclusiones del trabajo realizado , anexos y las referencias consultadas durante el desarrollo del presente documento.

II. Planteamiento del problema

El polipropileno es un polímero que se obtiene a partir de la polimerización del propileno, un material que entra en la categoría de los termoplásticos, se empezó a desarrollar en la segunda mitad del siglo XX, pero no fue hasta los años 80 que su uso se expandió por todo el mundo y en aplicaciones muy distintas (Squeasy, 2018). Entre sus características cuenta con baja densidad, dureza, resistencia al calor y versatilidad, no contiene tóxicos en su composición, hacen que este termoplástico tenga múltiples aplicaciones en sectores como la industria automotriz, los envases y empaques para diversos productos, alfombras y tapices, juguetes y artículos de aseo entre muchos otros objetos que facilitan la vida. Hoy en día es muy implementado en industrias de todo tipo y es el segundo plástico más utilizado (Acoplasticos,2021).

Sin embargo, a pesar de sus increíbles beneficios como un plástico que no es tóxico en su composición, tiene una resistencia a la degradación muy alta y puede tardar entre 150 y 1000 años en descomponerse, además, es uno de los materiales más contaminantes y debe ser reciclado o reutilizado siempre que sea posible, porque lo que se hace con él puede afectar al medio ambiente y a la salud de los seres vivos (Aquaefundación,2021).

De acuerdo con el contexto anterior, según Gómez (2019) en Colombia se genera casi 4.5 kilos de basura al día y, cada 24 horas, solo en Bogotá, se eliminan casi 6.300 toneladas de residuos. De ese total de basura que diariamente se genera en Bogotá, el 56 % corresponde a plásticos de distinto tipo. Es decir, casi el 60 % de la basura diaria de Bogotá es desecho plástico, es el material más mayoritario.

Las posibles causas del exceso de generación de este se deben en gran parte a que las empresas productoras y generadoras de plástico no entregan opciones a los consumidores. En

2018 las ventas tuvieron un incremento de un 2.5 %, con producciones anuales de 60.000 toneladas de bolsas plásticas, 2.000 toneladas de pitillos y 23.000 toneladas de tapas plásticas (Gómez, 2019).

Por lo tanto, es indispensable reciclar dicho compuesto, de no ser así, habrá aproximadamente, 32 millones de toneladas para el 2050, por lo cual se estima que, en términos de peso, habrá más plásticos en el océano que peces, la muerte de mamíferos marinos por causa de este producto, son más de 1.200 especies las impactadas por el material en los océanos, ya que en Colombia ecosistemas como océanos, manglares y ríos son de los más contaminados (Gómez, 2019).

Bajo este criterio, el reciclaje del polipropileno para transformarlo en algo útil como lo son las monturas de gafas que ayudan a las personas que tienen alguna discapacidad visual, resulta ser una opción favorable para reducir el impacto de la contaminación por plástico y generar un producto económico para esta población.

¿Cómo se podría reducir el impacto de la contaminación por polipropileno y generar una montura de gafas, bajo el contexto de un consumo excesivo de productos a base de dicho termoplástico?

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

Crear un material a base de polipropileno que pueda usarse para moldear monturas de gafas perfectamente útiles con el fin de reducir la contaminación y darle un segundo manejo al plástico generado en Bogotá.

3.2 Objetivos específicos

- Recopilar y analizar información que sirva como referencia frente al manejo integral de los residuos y manipulación del polipropileno.
- Diseñar y construir un molde para el material, que permita tener una referencia de la montura de gafas.
- Recolectar el polipropileno y realizar ensayos de laboratorio con el fin de encontrar el material polimérico que tenga las mejores propiedades para la montura de gafas.

IV. Justificación

En el año 1950 la producción mundial de plásticos era de 2.3 millones, para el año 2015 esta producción aumento a 407 millones (SEO BirdLife, 2019) anualmente en Colombia se generan aproximadamente 12 millones de toneladas de residuos sólidos y solo se recicla el 17% (elempaque, 2019). Se estima que el 79 % de todo este producto que se ha producido en los últimos 150 años se encuentra en rellenos sanitarios, ecosistemas terrestres (bosques, selva tropical, desiertos, matorrales, herbazales, paramos) y en ecosistemas acuáticos (mares, océanos, arrecifes de coral, ríos, lagunas, manglares), cuando se deja que el plástico se deposite en ambientes naturales debido a su baja densidad algunos de ellos se dispersan fácilmente y al no biodegradarse con facilidad contamina los ecosistemas amenazando el equilibrio ambiental, las especies.

Así mismo con el pasar del tiempo los plásticos abandonados en la naturaleza se empiezan a fragmentar en partes más pequeñas conocidas como microplásticos. Silvia Gómez la directora de Greenpeace Colombia establece que “el 90 % de las playas de la costa Atlántica en el país están contaminadas con microplásticos, en la lista de los 20 ríos más contaminados del planeta se encuentran dos de las más importantes fuentes hídricas el río Amazonas y Magdalena” (elempaque, 2019), se estima que, en todos los océanos, mares, ríos, hay entre 5 y 50 billones de microplásticos que se pueden adherir con facilidad a la cadena alimenticia (SEO BirdLife, 2019).

Tomando en cuenta la información recopilada, se plantea la idea de generar una montura de gafas en la cual se encuentre como principal componente el polipropileno teniendo como inspiración el poder reducir el impacto de la contaminación ambiental por plástico al darle un buen manejo a dichos residuos que contengan esta cadena polimérica, para poder que este

residuo sólido tenga un ciclo de vida Cradle to Cradle™ que permita darles un segundo uso a los residuos generados por el ser humano.

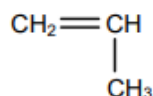
V. Marco teórico

5.1 Información general sobre el polipropileno

El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico blanco, semiopaco, comercial, y que actualmente se elabora en una amplia variedad de calidades y modificaciones. Básicamente se utiliza para la construcción de piezas que necesitan resistencia química, peso ligero y fricción suave. Es un material muy rígido y duro, que tiene una excelente resistencia al impacto, a los productos líquidos corrosivos y a la dieléctrica (Monzó, 2015).

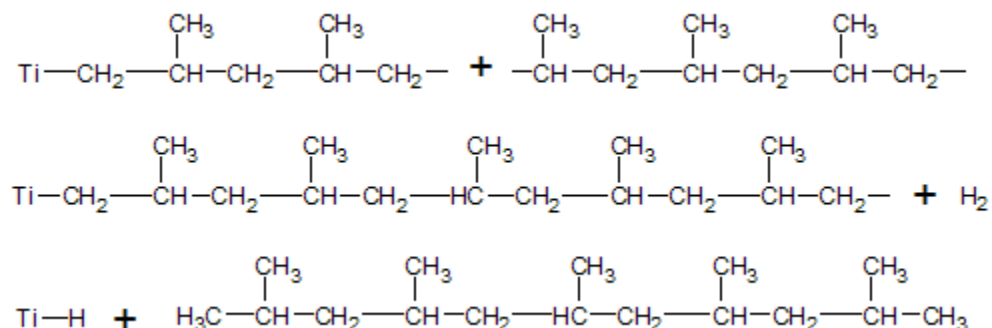
Este se puede obtener mediante la polimerización del propileno (2-propeno); el propeno es un hidrocarburo saturado que únicamente contiene átomos de carbono y de hidrógeno como se puede observar en la Figura 1. Es el producto gaseoso obtenido a partir del proceso de refinado de petróleo, en presencia de un catalizador y en condiciones de presión y temperatura controladas.

Figura 1. *Molécula de propeno*



Nota. Fuente: Monzó, 2015.

Según el estudio de Monzó (2015) en la reacción de polimerización muchas moléculas de propileno (monómero) reaccionan para formar una gran molécula de polipropileno (ver en la Figura 2) . La síntesis de este polímero requiere la utilización de un catalizador, que generalmente es un compuesto organometálico donde el centro activo es un metal de transición, este actúa como soporte para que la reacción de polimerización tenga lugar, las moléculas de propeno se unen de forma secuencial a la cadena polimérica introduciéndose en la posición inicial entre el metal de transición y el enlace con la primera unidad monomérica de la cadena polimérica.

Figura 2. Mecanismo de polimerización del polipropileno

Nota. Fuente: Monzó, 2015.

Continuando, algunas de sus propiedades físicas y químicas más importantes se pueden observar en la Tabla 1, es necesario tenerlas en cuenta para poder realizar cualquier ensayo.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del polipropileno

Propiedad	Valores típicos
Densidad	0.91 g/cm ³
Temperatura de fusión	173 °C
Temperatura de ebullición	160 °C
Conductividad térmica a (23°C)	0.22 W/(K-m)
Capacidad calorífica específica a (23°C)	1.75 (g.k)
Calor específico	0,46 cal/gr.°C
Calor de combustión	10725 Kcal/Kg
T. máxima de servicio en periodos cortos	130 °C
T. máxima de servicio en periodos largos	100 °C
Elongación a la rotura	650%
Módulo de elasticidad a la tensión	1
Coefficiente dinámico de fricción	0.3 N/mm ²
Rango temperatura de descomposición	328 – 410 °C

Nota. Tabla adaptada de las propiedades más importantes de polipropileno. Fuente: Elaplas, 2017 y Monzó, 2015.

También, tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos. Esto quiere decir que, se dificulta la interacción directa de este polímero con otros químicos, como por ejemplo los ácidos. Adicionalmente, presenta poca absorción de agua y es insoluble en ella, por lo tanto, no presenta mucha humedad ya que tiene un bajo coeficiente de absorción de

humedad (0.02 kg/m^2). El polipropileno tiene una buena resistencia química a disolventes orgánicos como el cloroformo, acetona, tetrahidrofurano, entre otros, pero una resistencia débil a los rayos UV, generando degradación. La energía UV absorbida por los plásticos puede excitar a los fotones, que entonces crean radicales libres. Mientras que muchos plásticos puros no pueden absorber la radiación UV, la presencia de residuos de un catalizador y otras impurezas a menudo actúan como receptores y causan la degradación lo que genera un aspecto calcáreo y cambio de color (Roymaplast S.L®, 2020). Gran parte de la ventaja de las propiedades del uso del polipropileno y su posterior reutilización se debe a su capacidad para moldearse, su resistencia mecánica y rigidez.

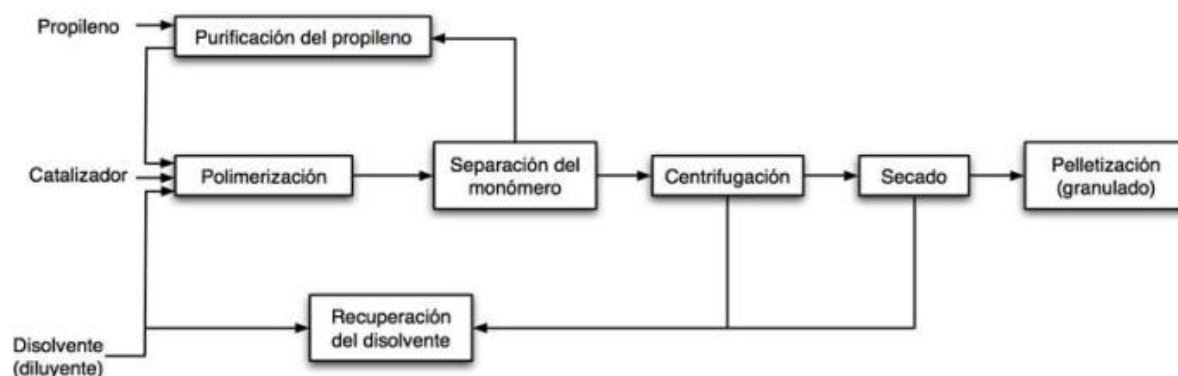
Como lo mencionan Calvalcante y Gong (2020) las monturas juegan un papel muy importante tanto por los materiales utilizados como por su diseño. Los ensayos de resistencia al impacto para protectores oculares que se describen en las normas UNE-EN 166 y 168, exigen su realización con el protector ocular completo, considerándose como ensayo fallido la ruptura de la montura, aunque la lente permanezca intacta. Para la fabricación de monturas de lentes de protección se emplean materiales termoplásticos como el TAC, el nylon y el polipropileno (PP), de elevada resistencia química y mecánica, además de ser baratos. Para protectores de alto impacto se usan monturas de PC-BPA, que se obtienen mediante moldeo por inyección, lo que permite obtener diseños muy efectivos. El diseño también es un factor importante en la seguridad, ya que el uso de espumas y/o bandas elásticas contribuye a incrementar el confort y la capacidad para amortiguar los golpes.

5.2 Obtención de polipropileno

Además de las propiedades que posee el polipropileno en su estado natural, hay diversas formas empleadas para su obtención. Según Corso P., López A., Caleffi C., Dominguez. N., Diaz G. (2016) Existen 3 formas de clasificar el proceso de obtención de polipropileno:

- **Proceso en Suspensión o *Slurry*:** Están configurados para que la reacción tenga lugar en un hidrocarburo líquido, en el que el polipropileno es prácticamente insoluble, y a una temperatura inferior a la de fusión del polímero. El proceso se puede dividir en las siguientes etapas: Preparación del catalizador, polimerización, recuperación del monómero y solvente, remoción de residuos del catalizador, remoción del polímero atáctico y de bajo peso molecular, secado del producto, adición de modificadores y extracción del polímero.

Figura 3. Diagrama de bloque de proceso para proceso en suspensión

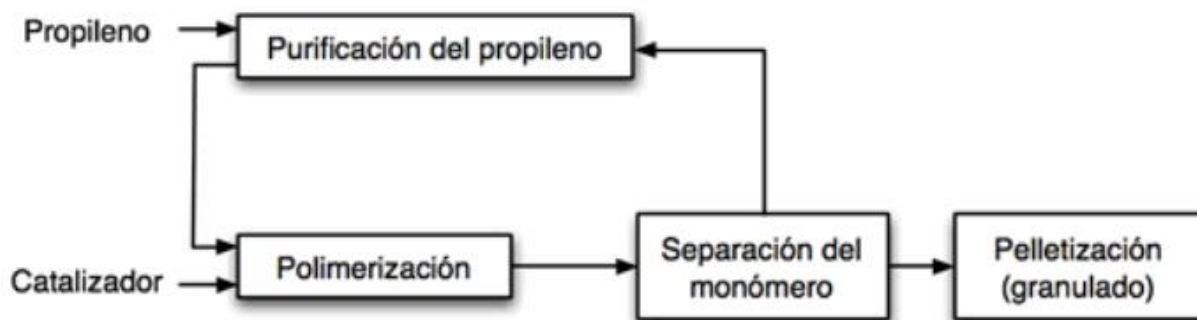


Nota. Fuente: Corso P., López A., Caleffi C., Dominguez. N., Diaz G. 2016.

- **Proceso en masa con monómero en fase líquida:** La principal diferencia de este proceso con respecto al de suspensión es la sustitución del solvente por propileno líquido. Esto fue posible debido a que con el desarrollo de nuevos catalizadores ya no fue más necesaria la extracción de catalizador ni la remoción del polímero atáctico. El proceso

más utilizado comercialmente corresponde a esta clasificación y es llamado *Spheripol*. Se trata de un proceso versátil que permite preparar diferentes tipos de productos con propiedades óptimas usando dos reactores en serie.

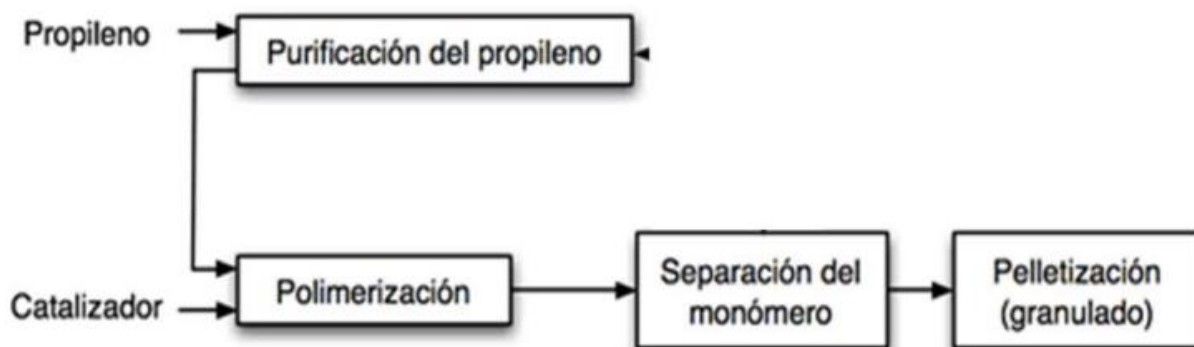
Figura 4. Diagrama de bloque para proceso en masa con monómero en fase líquida



Nota. Fuente: Corso P., López A., Caleffi C., Dominguez. N., Diaz G. 2016.

- Proceso en masa con monómero en fase Gas:** Los procesos en fase gaseosa aparecieron casi simultáneamente con los en fase líquida. Esta tecnología fue revolucionaria porque evitaba completamente la necesidad de un solvente o un medio líquido para dispersar los reactivos y productos del reactor. También eliminaba la separación y recuperación de grandes cantidades de solventes o de propileno líquido que era necesaria en los procesos con reactores en suspensión o en fase líquida. El polipropileno producto que se obtenía en los reactores de fase gas era esencialmente seco y sólo requería la desactivación de una pequeña parte de los residuos del catalizador antes de la incorporación de aditivos y su posterior paletización. Por lo tanto, esta tecnología redujo la manufactura del polipropileno a pocos pasos esenciales.

Figura 5. Diagrama de bloque para proceso en masa con monómero en fase gas



Nota. Fuente: Corso P., López A., Caleffi C., Dominguez. N., Diaz G. 2016.

En adición a Corso et al., Ochoa (2017) asegura que el proceso de reciclaje de polímeros para la elaboración de madera plástica está compuesto por la operación de 3 máquinas: trituradora, peletizadora y extrusora, sometiendo la materia prima a procesos de alta presión y temperatura. Dentro del aprovechamiento a realizar por Reambientol no se incluye un tratamiento de lavado. [...]

El tipo de plástico apto para contener insumos químicos para la agricultura corresponde a polímeros termoplásticos que se caracterizan por ser fácilmente maleables en condiciones de alta presión y temperatura, lo que les permite ser aprovechados repitiendo el ciclo hasta siete veces, para lo que se debe tener en cuenta que algunos factores externos pueden disminuir la resistencia del material, como lo son los esfuerzos mecánicos y las condiciones ambientales.

5.3 Contaminación por microplásticos

De acuerdo con Mayorga (2020) el plástico no se recicla a gran escala ni se recupera porque no es “rentable”, y continúa siendo más “económico” fabricarlo a partir de recursos no renovables. Alrededor de 4% del petróleo y de la producción mundial de gas, recursos no renovables, se utilizan como materia prima para plásticos y el 3-4% se gasta para proporcionar

energía para su fabricación. Una parte del plástico producido cada año se utiliza para hacer artículos que se descartan al cabo de un año. De acuerdo con estas dos percepciones indican que el uso actual de los plásticos no es sostenible.

Al mismo tiempo, esto genera graves consecuencias en el ambiente debido al manejo inadecuado de los residuos, por ejemplo, en especies de agua dulce y terrestres que se ven afectadas por grandes piezas de plástico que contaminan el ambiente de una manera acelerada conforme al estudio realizado por Blettler, M. C. M., & Mitchell, C. (2021) en tres grandes ciudades ribereñas: Rosario, Santa Fe y la ciudad de Paraná, situadas en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, respectivamente en el tramo medio del gran río Paraná en el centro-este de Argentina, se registraron mediante fotografías 90 casos diferentes para 44 especies, de los cuales las aves son las más afectadas con los encuentros de macroplástico en un 72,2%. El tipo de encuentro plástico-fauna dominante fue el uso de plástico como material de anidación en el 42% del total de casos y el segundo fue el enredo con un 33%. La mayoría de los enredos tuvieron consecuencias letales para los organismos implicados dando un total de aproximadamente el 60%. Este estudio proporcionó pruebas de que las especies de agua dulce y terrestres son sensibles y se ven afectadas negativamente en su mayoría por el mismo tipo de encuentros con plásticos descritos para las especies marinas.

Las aguas superficiales del océano, los sedimentos de aguas profundas e incluso los propios organismos marinos se han analizado para la presencia, cantidad, tamaño y tipos de polímeros de partículas de microplásticos (A. Kelly et al., 2020).

Por otra parte, para mitigar este impacto y falta de reciclaje de productos denominados comúnmente como plásticos, en España, según Garrido (2020) no todas las monturas se pueden aprovechar ya que están rotas o presentan muchos desperfectos. En estos casos no se va a llevar a

las ópticas si no que se reciclaran de la mejor manera posible depositándose en la fracción de restos o rechazo (basura normal).

Una vez depositados, según la página oficial del gobierno, son recogidos por los empleados del ayuntamiento y enviados a diferentes instalaciones:

- Instalaciones de tratamiento mecánico-biológico;
- instalaciones de incineración o valorización energética;
- se depositan en los vertederos.

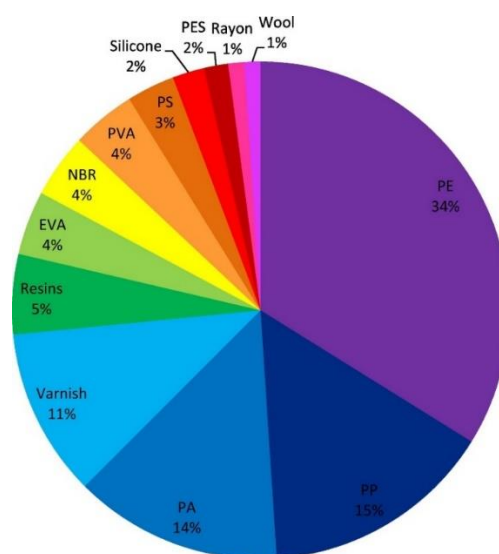
Esta fracción de restos es la generada en el ámbito urbano, es decir, viviendas, comercios y oficinas para las cuales no hay una recogida específica como ahora los envases de plástico, cartón, latas, aceite doméstico usado, etc (Gobierno de España, sistemas de tratamiento, s.f.).

Los microplásticos son pequeños desechos plásticos (de 1 a 5 mm de diámetro), clasificados como primarios o secundarios, según su origen. Los microplásticos primarios se fabrican industrialmente en ese rango de tamaño para la preproducción de pellets o microperlas de plástico utilizados en productos cosméticos y domésticos. Los microplásticos secundarios proceden de la descomposición de artículos plásticos o grandes fragmentos de plástico, principalmente causados por fotodegradación (es decir, radiación ultravioleta) y abrasión física. Se ha observado la presencia de microplásticos en casi todos los tipos de hábitats y organismos marinos que abarcan diversos niveles tróficos. Estudios recientes sugieren que la abundancia de microplásticos en áreas costeras está altamente influenciada por los patrones de lluvia y la densidad de población, lo que implica que estos entornos son propensos a estar más

contaminados durante los períodos de lluvias y la temporada alta de turismo. (Rios-Mendoza et al., 2021)

Los estudios sugieren que las altas concentraciones de microplásticos en el medio marino tienen implicaciones de gran alcance para los procesos biogeoquímicos, biota y ecosistemas marinos. La posibilidad de acumulación de cadenas poliméricas en las regiones polares se pasó por alto ampliamente debido a la falta de poblaciones urbanas cercanas y fuentes de contaminación locales, sin embargo, aunque los mares polares son más remotos, se ha encontrado que las concentraciones de microplásticos son similares con las de áreas más urbanizadas y densamente pobladas. Lo que indica que las corrientes oceánicas, así como el hielo marino, pueden proporcionar un medio de transporte para las partículas de microplásticos (A. Kelly et al., 2020).

Figura 6. Composición porcentual total de polímeros en el núcleo de hielo marino terrestre rápido utilizando métodos HP y PF.



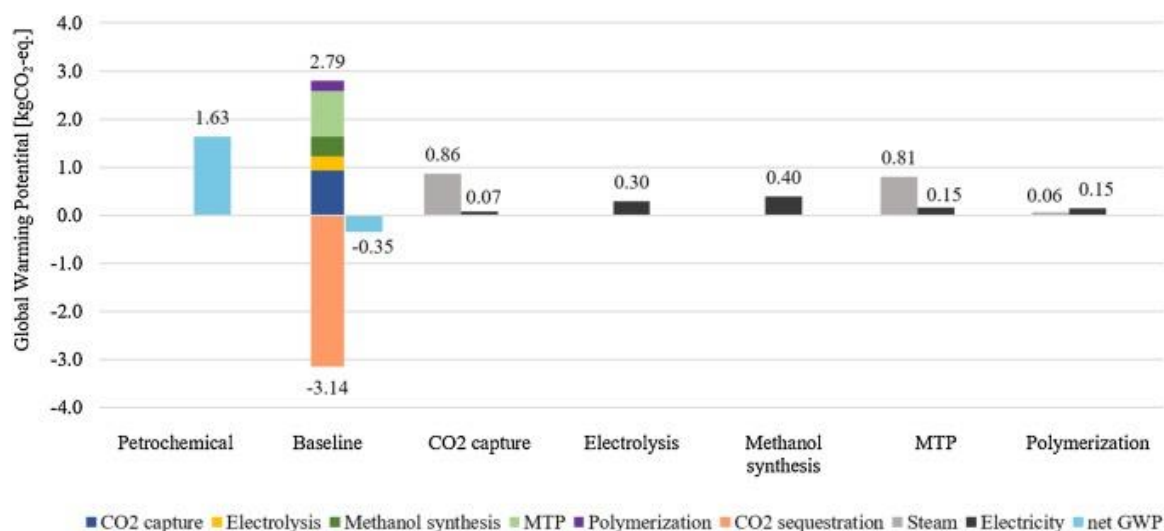
Nota. Polietileno (PE; incluido polietileno de baja densidad LDPE), polipropileno (PP), poliamida (PA; incluye nailon), barniz (incluidos poliuretanos y poliacrilatos), etileno acetato de vinilo (EVA), resinas

(incluidos fenoxi y epoxi), caucho de nitrilo (NBR), poliestireno (PS), alcohol polivinílico (80-100% hidrolizado), rayón, lana, poliéster (PES) y silicona. Fuente: A. Kelly et al., 2020.

La contaminación de cadenas poliméricas de polipropileno en fuentes hídricas es solo una de las preocupaciones ambientales en nuestros días, también se hace la pregunta ¿si el polipropileno a base de CO₂ podría producirse con emisiones netas negativas de gases de efecto invernadero? y ¿si existe el riesgo de que la producción de energía a polipropileno conduzca a un mayor uso de la tierra y consumo de agua?

En 2021, K. Kuusela, V. Uusitalo, J. Ahola y J. Levänen hicieron un estudio que dio respuesta a estas preguntas encontrando que el potencial de calentamiento global neto de la energía a polipropileno era negativo (-0,35 kg CO₂eq kg⁻¹), lo que significa que más CO₂ del aire está incrustado en el polipropileno del que se emite durante su producción. La conversión de energía en polipropileno tiene poco efecto en el consumo de agua, pero puede conducir a un mayor uso de la tierra, especialmente a través del consumo de energía renovable. Parece que la producción de energía a polipropileno tiene el potencial de transformar la producción de polipropileno de ser una fuente de carbono a tener un potencial de calentamiento global negativo neto, que mundialmente podría jugar un papel significativo en la mitigación del cambio climático. Un efecto de sumidero de carbono a largo plazo puede ser posible si el polipropileno se utiliza en aplicaciones duraderas, como en infraestructura y construcción, y se puede evitar su incineración y liberación de carbono (Kuusela, V et al., 2021).

Figura 7. GWP neto y bruto de potencia a PP, por unidad de proceso y tipo de entrada de energía



Nota. GWP neto y bruto de potencia a PP, por unidad de proceso y tipo de entrada de energía, en comparación con el GWP bruto de PP petroquímico (1 kg PP base). El GWP bruto se refiere a las emisiones de GEI; El GWP neto es el resultado neto de las emisiones de GEI y el secuestro. Fuente: Kuusela, V et al., 2021.

5.4 Gestión y aprovechamiento del polipropileno como residuo

En Colombia, la gestión integral de residuos sólidos (GIRS), es una política pública establecida por el gobierno Nacional, que busca fomentar las prácticas de reducción, recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos en las copropiedades residenciales y comerciales según el decreto 2981 de 2013 (dentro del cual se aborda la gestión integral de los residuos sólidos, así como el aprovechamiento y tratamiento de los residuos como actividades del servicio de aseo), (MINVIVIENDA, 2015).

Según el Ministerio de Vivienda (2008) para lograr una gestión adecuada en la reducción de los residuos plásticos, el primer paso es la reducción en la fuente, acción que involucra diversas actividades tendientes a disminuir el uso de recursos y materias primas en la producción de artículos. En la industria del plástico, debe aplicarse en la etapa de producción,

responsabilidad que recae sobre los primeros actores de la cadena de gestión, es decir sobre: Los fabricantes de los diferentes plásticos (Industria petroquímica), las empresas que fabrican los diferentes productos finales (Industria transformadora) y quienes diseñan los envases para los productos (Envasadores).

De acuerdo con Suárez (2013) la principal técnica de reciclaje utilizada en Colombia se denomina reducción en la fuente, que tiene en cuenta el sitio en donde se lleva a cabo el proceso de reducción de la cantidad de residuos que se generan. La industria de plásticos ha sido capaz de realizar con éxito la reducción de la cantidad de material necesario para fabricar envases para productos destinados al consumo. Los envases de plástico, en general, son más ligeros que sus alternativas, tales como vidrio, papel o metal. Los materiales más ligeros requieren menos combustible para ser transportados y eso da lugar a menos material que desechar.

En adición a esto, han surgido diversos emprendimientos con razón social basados en el aprovechamiento de los residuos plásticos con el fin de generar vivienda a personas de escasos recursos. Empresas como Ingepol Outdoor, cuyo propósito es la combinación de residuos de propileno con el fin de construir paneles con los cuales se le puede apuntar a la ecovivienda.

Según Ingepol Outdoor (2016) el Polipropileno resulta un material muy atractivo para construcción porque tiene la capacidad de resistir muchos años a la intemperie, es inmune a plagas, bacterias, hongos entre otros, no es combustible y se adapta a cualquier tipo de clima, es aislante térmico y eléctrico.

Haciendo mención del componente económico del aprovechamiento de residuos de polipropileno en Colombia, se realizó un estudio por Geovany Manzanos Sánchez, en el cual, se

realiza un análisis de la disposición de recursos en el municipio de Arauca desde 3 perspectivas, la social, la económica y la ambiental.

Según Manzanos (2018) la significancia de este componente más allá de los resultados en las simulaciones financieras y comerciales que para esta alternativa resulta positiva bajo los supuestos planteados, conlleva a una necesaria diversificación de la matriz económica imperante en el municipio durante las últimas décadas. Para esto cabe mencionar que el desarrollo esta iniciativa conllevaría a potenciar los procesos de industrialización en el municipio que hasta ahora solo se vislumbra de manera tangencial en la industria petrolera.

Asimismo, Manzanos (2018) hace referencia en cuanto al componente social que, es importante mencionar que el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, a través de la Gran Encuesta Integrada de Hogares – GEIH, el 10 de abril de 2017, ubicó una tasa de desempleo para el municipio de Arauca del 15,8% muy por encima del nivel nacional. Bajo este escenario de desempleo que afecta directamente en mayor medida a esta población vulnerable incapaz de acceder a empleos formales entre otras causales por su bajo nivel de escolaridad; representaría un gran avance lograr desarrollar iniciativas de aprovechamiento de residuos que formalicen esta actividad otorgándoles unos mayores niveles de bienestar vía ingreso. [...] Por último, es importante mencionar que de acuerdo con datos contenidos en el PGIRS, esta alternativa lograría formalizar el 27,11% de los recuperadores de oficio agremiados en alguna de las asociaciones existentes en la actualidad.

En adición a esto, establece una tabla (Ver Tabla 2) en la cual se evidencia una metodología establecida en el decreto 2981 de 2013 para comprender la viabilidad de un proyecto de aprovechamiento de residuos como lo propone el ministerio colombiano.

Tabla 2. Metodología para establecer la viabilidad de proyectos de aprovechamiento según decreto 2981 de 2013

Ítem	Descripción
1. Análisis de Mercado	Realizar un análisis de mercado en el cual se evalúe como mínimo la oferta, la demanda, los precios históricos de compra y venta de materiales; Identificación de los actores de la cadena de comercialización y transformación de material reciclable, que permita estimar la cantidad de residuos a ser incorporados en el ciclo productivo en un periodo determinado de tiempo
2. Cuantificación y caracterización y residuos plásticos	Realización de la cuantificación y caracterización de los residuos para determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado
3. Infraestructura	Realizar predimensionamiento de la infraestructura y equipos necesarios en lo posible considerando por lo menos dos alternativas tecnológicas y administrativas, apropiadas a las condiciones socioeconómicas del municipio. Para el efecto se considerará la cantidad y tipo de residuos que se gestionarán en el proyecto de aprovechamiento, teniendo en cuenta el tipo de producto que el proyecto ofrecerá en el mercado
4. Indicadores Operacionales	Comparar alternativas a través de indicadores como beneficio/costo, empleos generados, costos de operación y mantenimiento, ingresos, entre otros.
5. Viabilidad Financiera	Evaluación de la viabilidad financiera y comercial de la alternativa seleccionada, para lo cual deberá considerar los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento. Así mismo, deberá incluir los ingresos por concepto de comercialización de materiales y de tarifas. El análisis deberá ser desarrollado para un periodo mínimo de diez años, incorporando indicadores financieros como B/C, VPN y TIR. La viabilidad del proyecto se considera positiva en condiciones de indiferencia de estos indicadores.
6. Articulación	En el marco de los PGIRS, el municipio deberá considerar la articulación del proyecto de aprovechamiento de residuos con los demás componentes del servicio público de aseo como la presentación de los residuos separados en la fuente, recolección y transporte selectivo, sensibilización y capacitación en separación en la fuente
7. Ubicación	El sitio donde se instalará la infraestructura debe ser compatible con los usos del suelo definidos en las normas de ordenamiento territorial vigentes
8. Permisos y Concepción	El proyecto debe contar con los permisos, concesiones y autorizaciones a que haya lugar, según lo establecido en la normativa vigente
9. Vinculación de los recicladores	Estructurar las estrategias para la vinculación de los recicladores de oficio cuando sea del caso

Nota. Fuente: Manzanos. 2018.

Por otra parte, continuando con investigaciones que le apuntan al componente social y ambiental, que por consiguiente implementan la sostenibilidad y extensión del ciclo de vida del polipropileno, se encuentra una investigación realizada por Luz Quintero, Luís Aristizábal y Ruth Ocampo titulada “El aprovechamiento una alternativa social y ambiental para el manejo de los residuos sólidos reciclables para la jurisdicción de la corporación autónoma regional de las

cuencas de los Ríos Negro Nare – Cornare, donde exponen que en Antioquia es una posibilidad realizar diversos métodos de reciclaje y aprovechamiento mediante el reciclaje mecánico que incentive la propia disposición de los recursos elaborados y disminuir la basura generada por individuo con su correcto aprovechamiento.

Quintero, L., Aristizábal L. y Ocampo R. (2016) concluyen que, con el aprovechamiento de los residuos generados en la región del oriente antioqueño, se contribuye a disminuir la demanda de recursos naturales, reducir la contaminación ambiental al disminuir los residuos que se llevan a los rellenos sanitarios y así mismo aumentar la vida útil de los sitios aprobados y destinados para la disposición final.

Asimismo, el reciclaje es el proceso a través del cual materiales ya utilizados (desperdicios), son acondicionados con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima. López y Olazar (2016) establecen que existen tres maneras diferentes de aprovechar el polipropileno una vez que finalice su vida útil: someterlo a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un aprovechamiento energético empleándolo como fuente de energía. A continuación, en la Figura 8 se muestra un resumen de las diferentes tecnologías.

Figura 8. *Tecnologías disponibles para el reciclado*



Nota. Fuente: López & Olazar 2016.

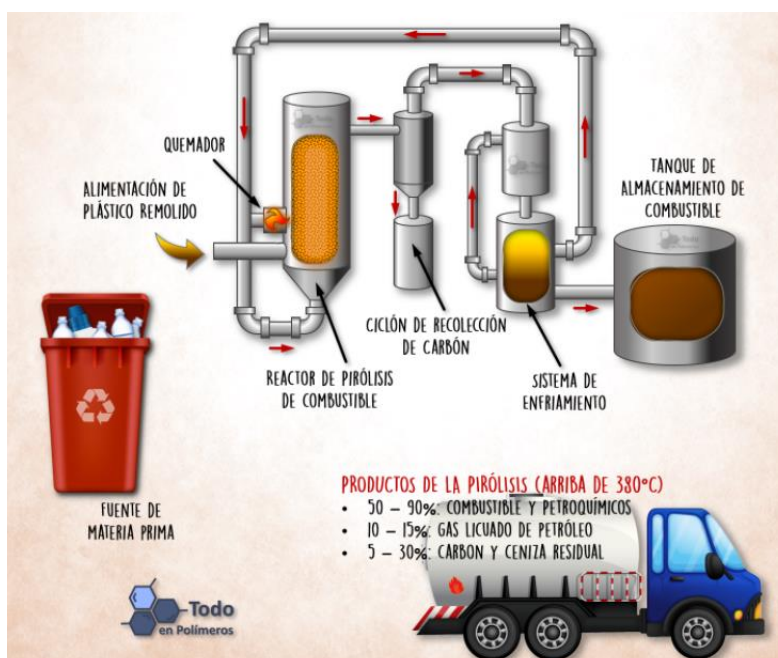
El reciclaje químico de plásticos es una novedosa tecnología que permite descomponer químicamente y/o térmicamente el plástico en materias primas y monómeros de alta calidad con el fin de fabricar nuevos productos químicos y plásticos (Aroca, 2021).

En el estudio realizado por López y Olazar (2016) los procesos de reciclado químico de residuos poliméricos se pueden clasificar en dos grandes grupos: termólisis y quimiólisis.

- **Termólisis:** el residuo polimérico es convertido por efecto del calor en productos de alto valor en la refinería, tales como naftas, hidrocarburos o gas de síntesis. Este tipo de reciclado químico se emplea principalmente para polímeros de adición.

- **Pirólisis:** es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías (Ver Figura 9).

Figura 9. Diagrama de pirólisis para la recuperación de materia prima y combustible



Nota. Fuente: Todo en polímeros, 2020.

-Quimiólisis: permite, empleando un reactivo químico, despolimerizar los plásticos completamente (obteniéndose monómeros) y posteriormente volver a sintetizar el polímero original u otros polímeros. Se clasifican en 3 tipos, como se ve a continuación.

- *Hidrogenación:* en este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.
- *Gasificación:* los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol, amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.
- *Chemolysis:* este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos (López & Olazar, 2016).

Por otro lado, el reciclaje mecánico es el proceso físico mediante el cual el plástico industrial o posconsumo se recupera para su reutilización y aplicación con otros fines. Es decir, es aquel proceso físico-mecánico a través del cual el plástico es recolectado de manera selectiva, compactado, separado, molido, lavado, secado, aglutinado y extrusado para ser utilizados como nueva materia prima como se puede observar en la Figura 10 (Rueda, 2021).

Figura 10. *Proceso de reciclaje mecánico*



Nota. Fuente: Ecoplas,2020.

Finalmente, en cuanto a los tipos de tecnologías para el reciclado del polipropileno se tiene el aprovechamiento energético, se basa en la recuperación energética es la obtención de energía, normalmente en forma de calor, a partir de la combustión de los residuos. Este proceso, es una opción de gestión de los residuos adecuada para aquellos productos y materiales que por diversos motivos no pueden ser reciclados fácilmente; por un kilogramo de polipropileno se liberan 7500 Kcal (López & Olazar, 2016).

En Colombia, de acuerdo con Quintero, Aristizábal y Ocampo (2016) La tecnología más utilizada para el aprovechamiento de estos residuos es el reciclaje mecánico, en menor proporción no muy significativa, el reciclaje químico y se está evaluando la incineración con recuperación de energía para el manejo de algunos empaques y envases plásticos contaminados con agroquímicos.

5.5 Línea base de la investigación

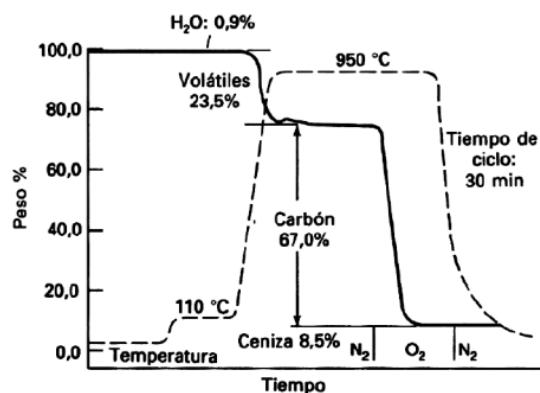
En la actualidad lo que se busca es la modernización y tecnificación con el fin de mejorar la productividad, en consecuencia, se ha optado por determinar los perfiles de temperatura para obtener materia prima de polipropileno virgen y reciclado. Condor y Guillermina (2016) realizaron un ensayo mediante la extrusión de polímeros, un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de moldeado del plástico que, por flujo continuo con presión y empuje, el material es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.

Por consiguiente, se determinó una temperatura de tornillo de 180 °C y a una temperatura de punta de 250 °C teniendo como resultado un porcentaje de elongación de 11,49 en el polipropileno virgen, además se obtienen las mismas temperaturas para el polipropileno reciclado, sin embargo, resulta un 8,08 porcentaje de elongación, lo que establece que el polipropileno virgen por ser un material puro tiene más alto el porcentaje de elongación, sin embargo, las características visuales y físicas del polipropileno reciclado son óptimas y resistentes a las temperaturas de 180-250°C facilitando el proceso de pulido y calado a nivel industrial.

Así mismo el análisis termogravimétrico (TGA) permite entender un poco más de las propiedades del polipropileno debido a que evalúa la pérdida de masa de muestras de residuos de polipropileno reciclado, en función de cambios de temperatura, empleando tasas de calentamiento constantes o variables en atmósferas inertes y constituye un método económico y eficaz para conocer la cinética del proceso de degradación térmica de los polímeros. Estos estudios son de gran importancia ya que permiten obtener información útil

para el diseño y optimización de reactores para pirólisis a escala piloto o industrial (Donoso, 2019). Avanzando en el tema, se ha estudiado los fenómenos más importantes que tienen lugar durante un proceso termogravimétrico de pirólisis de polímeros; sin embargo, no se ha estudiado en profundidad el fenómeno de desintegración térmica de residuos de polipropileno reciclado; considerando que dichos materiales fueron sometidos a esfuerzos mecánicos y térmicos diversos según el uso para el que fueron desarrollados, o presentan algún tipo de aditivo que modifica sus propiedades (Donoso, 2019).

Figura 11. Curva termogravimétrica



Nota. Fuente: Donoso, 2019.

En el estudio realizado por Donoso en el 2019 se encontró que las temperaturas máximas de degradación térmica guardan coherencia con las energías de activación obtenidas por el ajuste de los modelos, es decir a mayor temperatura de degradación le corresponde una mayor energía de activación. La energía de activación promedio para las muestras fue de $162,56 \text{ kJ mol}^{-1}$. También se determinó que a mayor concentración de impurezas, menor conversión y por tanto menor energía de activación. Las altas conversiones representan una ventaja respecto a otros residuos que son aprovechados para la obtención de combustibles, ya

que alcanzan conversiones próximas al 98% de fracción líquida, el resto se encuentra distribuido en la fracción sólida.

Continuando con el tema de la investigación de las propiedades del polipropileno reciclado en el 2016 Vélez, J., & De La Hoz, E., realizaron la construcción de un modelo lineal para estimar el Índice de Degradación a la Procesabilidad polipropileno a partir de un diseño experimental de polipropileno reciclado de residuos industriales y residuos sólidos urbanos.

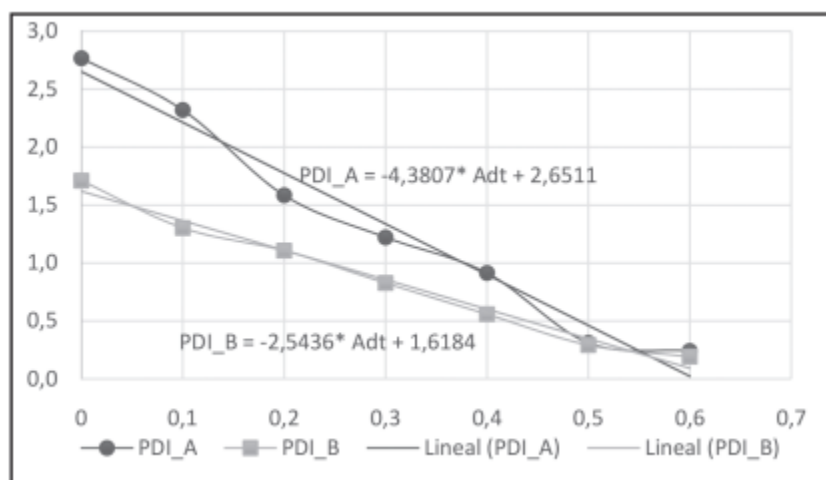
Se hizo un diseño experimental con los dos tipos de residuo variando el aditivo estabilizante de 0,1% a 0,6% obteniendo en cada caso un Índice de Degradación a la Procesabilidad con lo cual se pudo construir el modelo lineal. El método utilizado fue el análisis de Índice de Fluidez para poder cuantificar el Índice de Degradación a la Procesabilidad (PDI por sus siglas en inglés) del material debido a múltiples re extrusiones, procesando a nivel piloto en laboratorio, y utilizando polipropileno reciclado de los desechos industriales y de los rellenos sanitarios, adicionando diferentes niveles de aditivos estabilizantes, en una mezcla de *Pentaerythritol tetrakis (3-(3',5'-di-tert-butyl-4'-hydroxyphenyl) propi)*; *Tris (2,4-di-tert-butylphenyl) phosphite* y *Phosphorous trichloride*, reaction products with *1,1'-biphenyl* y *2,4-bis (1,1-dimethylethyl) phenol* en relación de 1 : 1 : 1 en una base de 0,04% *CaSt* y 0,04% *Aluminate (Al (OH) 63-)*, *(OC-6-11)-magnesium carbonate hydroxide (2:6:1:4)*) (Vélez, J., & De La Hoz, E., 2016). Con los resultados obtenidos de la investigación se obtuvo dos hipótesis:

1. El nivel de aditivo estabilizante no tiene un efecto significativo sobre el PDI de las muestras A y B.

2. El nivel de aditivo estabilizante tiene un efecto significativo sobre el PDI de las muestras A y B.

Después de emplear modelos matemáticos y/o estadísticos como Durbin-Watson, Shapiro-Wilk, Levene, las variables nivel de mezcla de aditivo estabilizante tiene un efecto significativo sobre el PDI de las muestras. se observó que los niveles de aditivo requeridos para optimizar el bloqueo de la degradación van desde 0,050% a 0,60%, siendo este último la concentración de aditivo óptima para minimizar el Índice de Degradación a la Procesabilidad (Ver la Figura 12).

Figura 12. Gráfico del modelo ajustado Muestra A y B

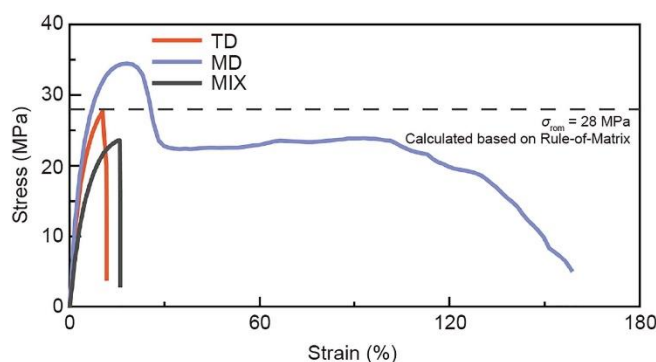


Nota. Fuente: Vélez, J., & De La Hoz, E., 2016

Avanzando en el tema, la inmiscibilidad de polipropileno (PP) y el polietileno (PE) presenta un obstáculo importante tanto en la industria como en el mundo académico a la hora de reciclarlos en aleaciones con propiedades mecánicas favorables en el 2021 J. Qu, Z. Huang, Z. Yang, G. Zhang, X. Yin, Y. Feng, H. He, G. Jin, T. Wu, G. He, X. Cao, inspirados en una técnica tradicional china desarrollaron una metodología sencilla a escala industrial

que produce una mezcla binaria de PP / PE con una nanoestructura de panel altamente ordenada sin aditivos, debido a la nanoestructura que posee la mezcla exhibe propiedades de tracción mejoradas en comparación con los componentes originales o con una muestra preparada usando un mezclador interno. Este enfoque tiene potencial para aplicaciones no solo en la mezcla de polímeros inmiscibles, sino también en la no clasificación, reciclaje de residuos plásticos sin compatibilizadores. A través de esta técnica, los autores esperan que se pueda encontrar una vía de reciclaje de desechos plásticos sostenible y respetuosa con el medio ambiente, y que se puedan obtener grandes beneficios económicos (J. Qu, Z. Huang et al., 2021).

Figura 13. Propiedades mecánicas de las aleaciones PP / PE mezcladas usando MIX e ISTSP



Nota. Curvas de tensión-deformación de mezclas PP / PE preparadas usando MIX e ISTSP en varias direcciones bajo deformación a una tasa del 100% por minuto. La línea discontinua corresponde a la resistencia a la tracción teóricamente predicha σ de 28 MPa, que se calcula con base en la regla de las mezclas. Fuente: J. Qu, Z. Huang et al., 2021

Mencionando otros experimentos realizados a partir de material plástico y el estudio de nuevas propiedades, se encuentra el trabajo realizado por Nataly Galvis Gutiérrez, que en su documento titulado “Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen”

menciona un procedimiento de separación de polipropileno reciclado haciendo uso de tapas negras de envases de todo tipo, con el fin de combinarlos con PP virgen y crear una nueva mezcla para elaboración de nuevos envases.

Dentro de su documento expone que se debe pasar por diferentes procesos que permitan manejar el material de mejor forma, es decir, según Galvis “es necesario realizar una exhaustiva selección de material principalmente por colores, en este caso solo se aceptan tapas negras, muchas de estas contienen resortes de metal, u otro tipo de plástico en menor porcentaje, estos se deben retirar para resultados más precisos, dejando en su mayoría el Polipropileno”.

Después del proceso de separación, se procede a utilizar un molino de cuchilla fino, con el cual se trituran las tapas recolectadas, posteriormente se procede al lavado y secado, donde luego de preparar el material reciclado, se procede a realizar el procedimiento de reducción de tamaño de la partícula. La reducción de tamaño de partícula es un proceso que se realiza para plásticos que van a ser reciclados, para conocer la densidad inicial, final y su porcentaje de pérdida en peso. Consiste en triturar el material en un molino en trozos más pequeños, las características de los molinos utilizados para reducir el tamaño en polímeros varían dependiendo del plástico que se desee utilizar. (Galvis, N., 2014)

Como finalidad del procedimiento de Galvis, se elaboró una tabla de porcentajes entre PP reciclado y PP virgen para realizar pruebas de tensión y comprobar si la mezcla de estos dos polímeros termoplásticos con dos ciclos de vida diferentes, lograban aliarse de manera que permitiera reutilizar el material de manera eficiente.

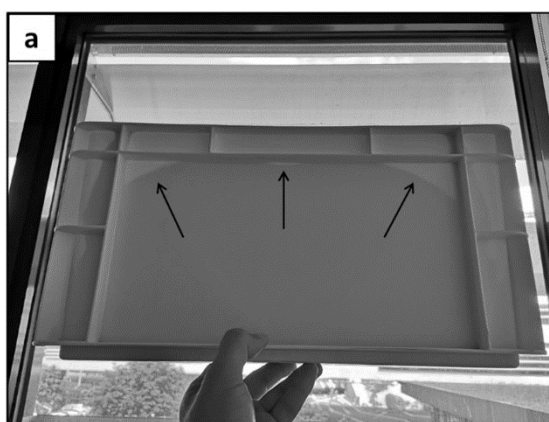
Galvis (2014) concluye que al realizar las pruebas de tensión para diferentes porcentajes de mezclas entre Polipropileno virgen y reciclado se observó que a medida que se iba incorporando Polipropileno reciclado las propiedades mecánicas disminuían. Esto quiere decir que el Polipropileno reciclado posee propiedades mecánicas inferiores a las del polipropileno virgen, siendo un material atractivo para implementarlo en el desarrollo de productos que no requieran de estas propiedades.

Para continuar con el estudio de las propiedades del polipropileno usando el método de transformación de entalpía, una forma ampliamente aceptada de resolver los problemas relacionados con la transición de fase; se utilizó para investigar la relación entre el comportamiento de solidificación y la cinética de cristalización del polipropileno isotáctico (iPP). Los hallazgos obtenidos sugieren que la temperatura del medio de enfriamiento es más efectiva para controlar la tasa de enfriamiento promedio que la temperatura de fusión. Se podría adoptar una ecuación generalizada, que se obtuvo trazando las curvas de enfriamiento en una escala logarítmica doble, para estimar el tiempo mínimo de enfriamiento (MCT) del polímero cristalino para optimizar el diseño de un ciclo de moldeo por inyección (IM). Además, también se estableció la descripción cuantitativa de la dependencia de la posición de la velocidad de cristalización. El estudio realizado demuestra una mayor exploración de la correlación entre los parámetros de enfriamiento y la evolución estructural de los polímeros cristalinos, así como para una mejor comprensión de los mecanismos de formación microestructural (Shu-Qing Wang et al., 2020).

Avanzando con el tema del reciclaje de la cadena polimérica de polipropileno de una caja de transporte de plástico reutilizable con un contenido reciclado del 45% en peso fabricada mediante un proceso de co-moldeo por inyección como se puede observar en la

Figura 14. La caja se caracterizó por métodos espectroscópicos y termoanalíticos. El rendimiento mecánico se probó tanto a nivel de muestra como de producto. Se realizó una comparación con cajas de transporte fabricadas íntegramente con PP virgen o íntegramente reciclado, respectivamente. Se identificaron varios contaminantes, incluidos polímeros extraños, dentro de la capa de núcleo reciclado del material estructurado en sándwich. Si bien estos contaminantes no tuvieron un efecto de deterioro sobre el rendimiento controlado por rigidez, se observó una fuerte influencia en las propiedades relacionadas con el impacto y el control de la resistencia. Se argumentó que la presencia de inclusiones de naturaleza polimérica e inorgánica es una característica de calidad intrínseca de los reciclados postconsumo. Estos deben tenerse en cuenta en cualquier filosofía de diseño a partir del reciclaje para garantizar la funcionalidad, confiabilidad y seguridad de los productos con contenido reciclado (Markus Gal et al., 2021).

Figura 14. *Fotografía de una caja de plástico moldeado por co-inyección con capas de piel blanca y núcleo reciclado oscuro*



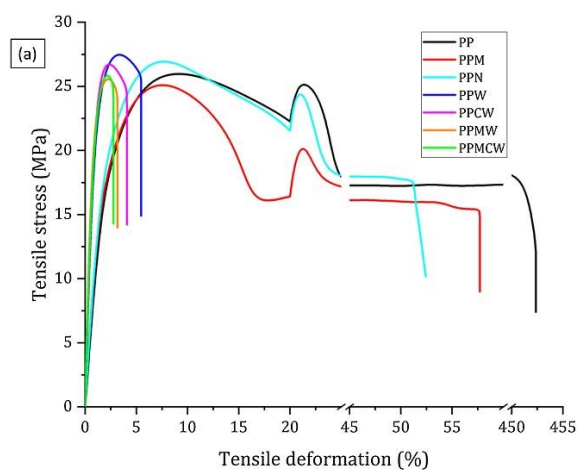
Nota. Fuente: Markus Gall et al., 2021.

Llegados a este punto de que las industrias se preocupan por gestionar mejor los residuos sólidos, algunas organizaciones al reciclar el polímero buscan que el aditivo tenga diferentes

características para así generar procesos más eficientes, por este motivo se han investigado cómo reaccionará la cadena polimérica si el aditivo es orgánico. En el 2021 en Brasil se hizo un reciclaje masivo de un residuo industrial de yute (*Corchoruscapsularis*) y fibras de polipropileno del fabricante de alfombras realizadas a través de la fabricación de materiales compuestos y el uso de polipropileno (PP), compatibilizador (C) y nanocarbonato cálcico (N). Los componentes se mezclaron en una extrusora de doble tornillo co-rotacional y se produjeron muestras en forma de mancuerna mediante moldeo por inyección. Se procesó previamente un masterbatch para mejorar la dispersión de N en la matriz polimérica.

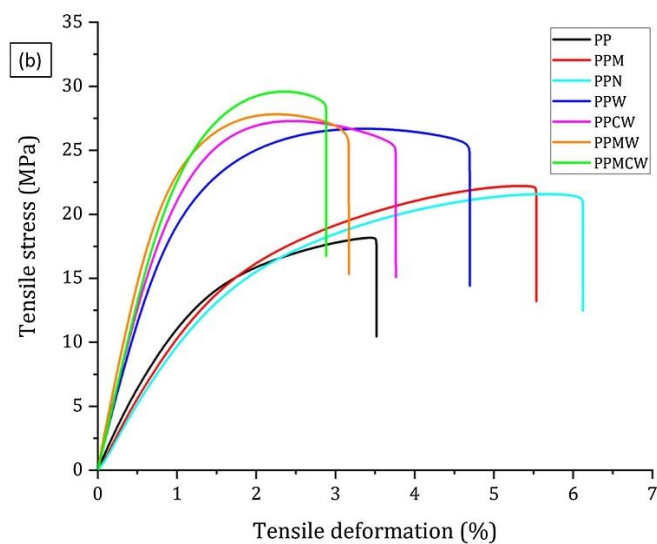
Los materiales compuestos se expusieron a un envejecimiento acelerado y se probaron mediante mediciones de tensión y ángulo de contacto, y se evaluaron mediante la apariencia visual antes y después del envejecimiento acelerado. La evaluación morfológica se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Las técnicas de procesamiento utilizadas proporcionaron compuestos con 50% en peso de desperdicio, buena dispersión de N, sin degradación térmica o mecánica de las fibras, y mejores propiedades mecánicas que el PP puro. La presencia de residuos industriales supuso una mejora del 135% en el módulo de elasticidad de la matriz de PP y una disminución de la deformación a la rotura del 435% al 5%. El N actuó como refuerzo mecánico y disminuyó la humectabilidad. Se lograron mejoras de 18% y 16% en el módulo elástico de la matriz cuando se incorporó N a través del masterbatch y por extrusión directa, respectivamente.

Figura 15. Curvas de tensión-deformación media de las muestras (a) antes (0 días)



Nota. Fuente: Bertolino, P., Branciforti, M., 2021.

Figura 16. Curvas de tensión-deformación media de las muestras (b) después (30 días)

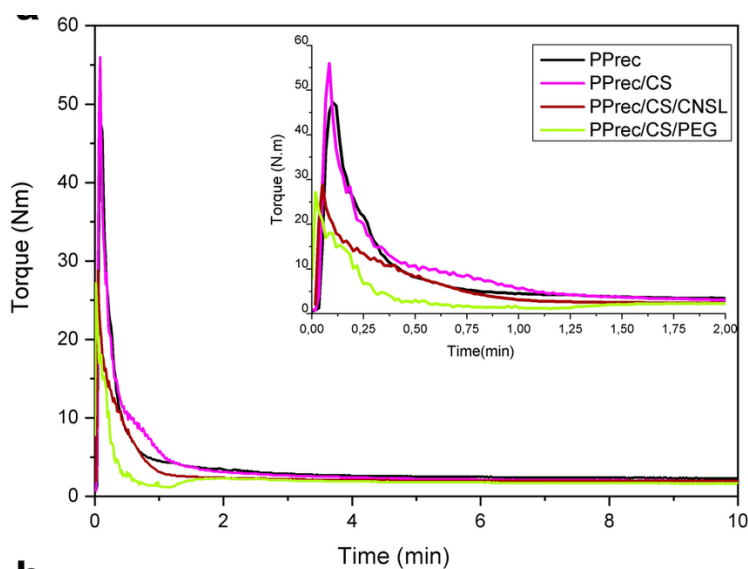


Nota. Fuente: Bertolino, P., Branciforti, M., 2021.

El compuesto procesado después de la fabricación del masterbatch y sin compatibilizador mostró una mejora del 186% en el módulo elástico de la matriz, la menor humectabilidad y el mejor rendimiento promedio bajo envejecimiento acelerado (Bertolino, P., Branciforti, M., 2021).

El añadir materiales residuales de origen natural mejora la estabilidad térmica, rigidez y la dureza de los compuestos de polipropileno reciclado, por este motivo en la presente investigación se estudió las propiedades de los compuestos de polipropileno reciclado (PPrec) con un 20% en peso de residuos de conchas de moluscos calcinados; la calcinación se llevó a cabo a 500 °C durante 12 minutos, con el fin de desaglomerar las partículas de la cáscara calcinada (CS). Se prepararon dos compuestos más a partir de cáscara calcinada: uno CS / CNSL, donde el CS se trató con el líquido de la cáscara del anacardo, CNSL (un subproducto agrícola) y el otro CS / PEG, donde el CS se trató con polietilenglicol. PEG (un producto sintético). En base al aspecto morfológico, (PPrec) mostró nanopartículas de carbonato cálcico (CaCO_3) bien dispersas con tamaño alrededor de 290,9 nm.

Figura 17. *PPrec y sus compuestos*



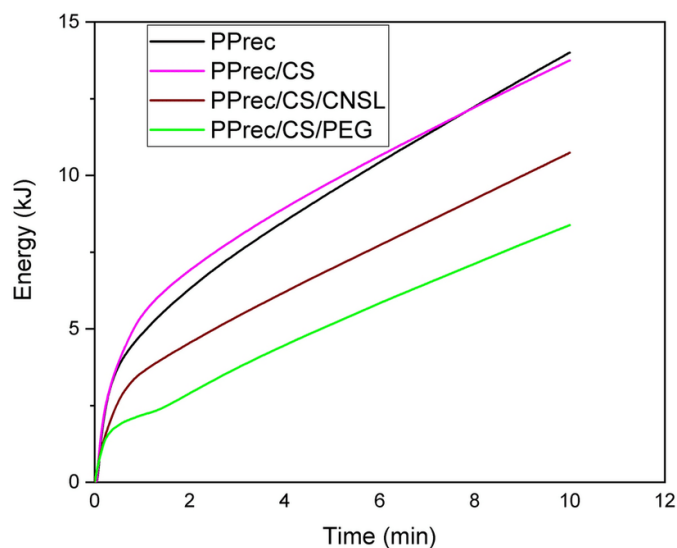
Nota. Curvas de par en función del tiempo para muestras a 190 ° C, 60 rpm y 10 min de mezcla, con un detalle del área de alimentación dentro de la figura. Fuente: Melo, P.M.A et al., 2021.

El tratamiento superficial de CS con PEG dio como resultado, compuestos con huecos y partículas aglomeradas, algunas de las partículas de CS se anclaron y se separaron de la matriz.

Se observaron algunos grupos que involucran las nanopartículas de CaCO_3 y las micropartículas de caparazón tratadas con CNSL. Las curvas de termogravimétrico (TGA) revelaron un contenido de cenizas en el rango de 9,46% para el polipropileno reciclado, lo que sugiere la presencia de CaCO_3 .

La estabilidad térmica de la matriz se mejoró añadiendo la cáscara calcinada y también tratándola con CNSL. A partir del DSC, el grado de cristalinidad de los compuestos CS / CNSL y CS / PEG fue similar al del PPre. Sin embargo, se observó una reducción del 11,9% en la cristalinidad del material compuesto con CS, que exhibió un pico de fusión más amplio que indica que pueden estar presentes esferulitas de polímero más pequeñas. La investigación de las propiedades mecánicas permitió verificar un aumento tanto en el módulo de tracción como en el de flexión del PPre / CS, mientras que el compuesto CS / CNSL presenta una leve disminución en ambos. Además, las partículas de CS fueron más efectivas para mejorar la tenacidad de PPre, aumentando su resistencia al impacto en un 41% (Melo, P.M.A et al., 2021).

Figura 18. PPre y sus compuestos



Nota. Curvas de energía versus tiempo. Fuente: Melo, P.M.A et al., 2021

5.6 Aspectos de la salud visual

En el campo de la salud visual, haciendo énfasis en el área de la salud, Abril Frontela (2017) expone frente a este tema que los plásticos dentro de la medicina son utilizados en diversos procesos y productos tanto de material sintético como de tipo natural. [...] Estos implantes poliméricos pueden ser temporales o permanentes.

- Permanentes o semipermanentes:

Se mantienen en el tiempo para facilitar y ayudar a realizar funciones vitales del ser humano. Se pueden encontrar: Articulaciones, huesos, prótesis vasculares, tendones, lentes intraoculares... Las mayores ventajas de los plásticos para que su uso sea fundamental en esta ciencia tan importante y no lo sea otro tipo de materiales, deriva de:

- Reproducibilidad de sus características
- Versatilidad de presentación o aspecto (líquidos, hidrogeles, espumas...), propiedades mecánicas (duros, rígidos, elásticos o lo contrario) e interacción con el agua (solubles e hidrófobos)
- Estabilidad a la biodegradación y corrosión

Aunque el número de tipos de plásticos utilizados en medicina es muy extenso, encontramos una gran cantidad de ellos que son a los que más uso dan como son: Polietileno, Policloruro de vinilo, Polipropileno, Poliestireno, Acrilonitrilo, Polidimetil siloxano, Policarbonato, Poliésteres.

5.7 Softwares utilizados para el diseño y fabricación de monturas de gafas

Como base de referencia de este documento, Cerón y Eraso establecen un procedimiento para el reciclado de material plástico, con el fin de diseñar y elaborar una montura de gafas a partir de este material.

Cerón y Eraso (2016) establecieron que por medio del software *Autodesk Inventor*® se procedió a crear un modelo y guardarlo en formato .STL el cual es compatible con el software de impresión 3D para así poder determinar la metodología de diseño de monturas para gafas. Los modelos de los diseños personalizados se realizarán en el software *Cubify Design*®, el cual permite editar las formas requeridas por los clientes por medio de una interfaz CAD.

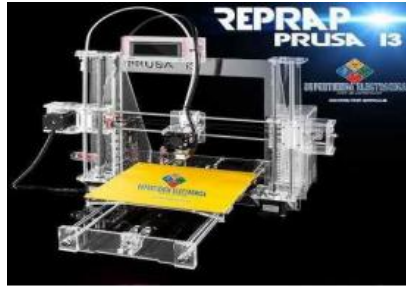
Figura 19. Software Cubify Design



Nota. Fuente: Tienda Sicnova 3D, 2016.

Para la importación de modelos de gafas personalizadas y su impresión es necesario el uso del software *Repetier-Host*® o *CURA 2.3.0*®, utilizando la impresora 3D Prusa I3. Por medio de un ordenador y el software (*Repetier-Host*®), se procede a realizar la importación o modificación al modelo del marco para gafas que se va a imprimir. El diseñador debe tener en cuenta una resolución de capas de 0.1mm en los acabados y bordes del modelo con el fin de que la impresión no sea defectuosa.

Figura 20. *Impresora 3D Reprap Prusa I3 Diy Presición Alta Calidad 2015*



Nota. Fuente: Mercado Libre, 2015.

VI. Marco legal

De acuerdo con la legislación colombiana las normas que rigen el manejo de residuos plásticos se pueden observar en la Tabla 3 a continuación.

Tabla 3. Normas generales sobre el manejo de residuos plásticos en Colombia

NORMATIVA	TEMA
Resolución 1407 de 2018	Reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones.
Decreto 2981 de 2013	Aborda la gestión integral de los residuos sólidos, así como el aprovechamiento y tratamiento de los residuos como actividades del servicio de aseo.
Decreto Ley 2811/ 1974	Plantea de manera futurista la necesidad de utilizar los mejores métodos de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la gestión integral de los residuos (recolección, tratamiento, procesamiento y disposición final).
Ley 274 de 2020	Se establecen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo de plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula la sustitución gradual mediante alternativas reutilizables o biodegradables, y se dictan otras disposiciones.

Nota. Tabla basada en la información legal colombiana, 2021. Fuente: Elaboración propia.

VII. Análisis de requerimientos

El reciclado del polipropileno es muy amplio, pero específicamente se describirán tres procesos, para de esta manera poder determinar al final cuál de las alternativas planteadas es la que se acopla a buenas características sociales, económicas y ambientales, lo cual la hará la mejor solución ingenieril al problema inicialmente planteado.

El PP es un plástico de bajo costo y fácil de moldear y colorear con el que se elaboran los tan criticados pitillos para bebidas, tapones de botellas o *tupperwares*, también otros envases alimentarios como los que albergan mantequilla, quesos frescos o yogures. Se puede reutilizar y es factible reciclarlo (Tuya, 2019), por lo tanto, como primera alternativa se plante reusar dichos envases como macetas, para decorar un jardín o el hogar. Es una alternativa de bajo costo, puesto que solo requiere lavar el envase, realizar los agujeros de drenaje, los cuales permiten que el agua adicional (agua que la planta ya no necesita) se filtre. El riego excesivo de plantas es una de las formas principales de matar una planta y, por lo tanto, es importante que el agua se drene con éxito (Nicola, 2021) y finalmente decorarla. Además, ayuda al ambiente, ya que no requiere de ningún proceso adicional y son decoraciones que ayudan a tener plantas en más lugares, finalmente ayuda a las personas a ser más conscientes de reutilizar los empaques de los productos que consumen, realizando una actividad diferente a la cotidianidad.

Como segunda alternativa al empleo de polipropileno reciclado, se plantea la utilización de este material de fácil recolección para la elaboración de monturas de gafas mediante la separación del material por color, trituración y molienda del material, así como también mediante un proceso de tamizado, en el cual, según Galvis (2014) se puede manejar de mejor manera el material y no va a perder resistencia mecánica a la hora de cambiar sus propiedades físicas mediante los procesos anteriormente mencionados.

Soportando esta alternativa enfocada al sector de la salud visual, se han presentado diversos estudios, uno de ellos traído por Frontela (2017) en el cual menciona que Strampelli y Barraquer realizaron implantes con éxito en la cámara anterior, pero, al cabo de unos años descompensaba el endotelio corneal teniendo que extraerlas por lo que se determinó que el lugar idóneo para colocar las lentes intraoculares era la cámara posterior. Los hápticos de estas lentes debían ser muy flexibles y se introdujo el metil polipropileno (prolene). Posteriormente se diseñaron los hápticos flexibles de PMMA.

Todo lo anterior, implica que el polipropileno ha tenido bastante influencia en el campo de la salud, lo que quiere decir que, frente a problemas médicos, contacto con el ser humano y la convivencia con este material termo plástico, se presenta como una alternativa coherente y competitiva frente a los materiales convencionales usados a nivel oftalmológico.

Más allá de la salud, en el ámbito económico, se han realizado estudios, como el de Cerón y Eraso, en el que hablan de la creación de una empresa en la cual se produzca una montura de gafas a partir de material reciclado.

Cerón y Eraso (2016) concluyen que Empresas como Lignum Wooden Eyewear, fabricante de monturas para gafas con productos sustitutos hechos en madera, está aprovechando el auge y la creciente tendencia en el consumo de productos ecológicos, comercializa sus monturas a un valor promedio de \$150000 pesos colombianos.

Por lo cual, proponen la venta de sus monturas a \$100.000 COP puesto que el material empleado y la maquinaria para su realización no es tan costosa como si fueran a base de madera y la materia prima utilizada sería en su mayoría material reciclado de envases plásticos de PP.

Avanzando en tema de las distintas alternativas para poder reutilizar el polipropileno, un método factible de tratar los materiales de desecho es el uso de estos en una mezcla asfáltica combinada con cadenas poliméricas provenientes de residuos sólidos, los cuales generan un impacto ambiental negativo para así evitar su degradación y reducir las emisiones de gases contaminantes. En una Investigación realizada en Costa Rica usaron bolsas de polietileno, polipropileno y las partes traseras de carros se han evaluado como posibles modificadores de asfalto. El comportamiento de las mezclas asfálticas que se modifican depende de las propiedades, composición y características del polímero que se va a emplear. Por tanto, el objetivo principal de modificar el asfalto es mejorar las propiedades mecánicas bajo las condiciones de servicio a las que este estará sometido (temperatura, clima, zona geográfica y tipo de tráfico), buscando diseñar materiales resistentes a los esfuerzos de tensión, corte y a la deformación, generando que los mismos se desempeñen apropiadamente y presenten una mayor vida útil de servicio (Villegas, R et al., 2018). Para realizar una mezcla asfáltica y/o modificación del asfalto es muy importante conocer todas las propiedades fisicoquímicas del polímero (composición química, homogeneidad, toxicidad, temperatura de degradación, temperatura de fusión o de otro tipo de transiciones) que se va a emplear debido a que entre mejor se conozca la cadena polimérica habrá un mayor control en el proceso de modificación.

Esta alternativa se puede ver desde diversas opciones; la primera es desde la mirada ambiental el proyecto recicla los materiales involucrados en el proceso de modificación, evitando así que estos materiales de desecho se depositen en lugares ecológicamente sensibles, como fuentes hídricas; la segunda es desde la mirada social, el proyecto promueve la recolección de desechos sólidos, utilizables en la modificación de asfaltos, promueve la creación de centros de acopio y procesamiento de desechos como material modificante, lo cual brindaría fuentes de

trabajo; la tercera es desde la mirada económica, permitiendo reducir el costo en obra pues el precio de algunos polímeros comerciales es alto y como se emplean cadenas poliméricas recicladas se reduce el gastar dinero en su compra

De acuerdo con lo anteriormente descrito, la primera alternativa es buena, pero no sería una opción favorable puesto que depende de cada persona y no todas cuentan con la disponibilidad de tiempo para reutilizar sus envases, clasificarlos y limpiarlos para realizar la maceta y además no es una solución ingenieril, en cuanto a la alternativa número tres, tampoco es viable debido a su precio, aunque con el uso de polímeros reciclados se disminuyen los costos aun así su precio por tonelada es de \$ 20 USD (Villegas, R et al., 2018), es decir que si quisiera producir unas 100 toneladas el precio es de \$2,000 USD siendo algo un poco elevado para desarrollo en laboratorios de la institución.

7.1 Selección de la mejor alternativa

Por lo tanto, se determina que la mejor alternativa es la número dos, debido a que aparte de generar más valor agregado en cuando a la ampliación del ciclo de vida del polipropileno empleado en envases y tapas de cualquier tipo, es un procedimiento sencillo y de bajo costo con el cual se puede innovar en cuanto a las propiedades ya conocidas de una montura común de gafas, es decir, el uso del PP reciclado aporta cierta elasticidad que daría un plus de protección al lente contra caídas y posibles quiebres del lente. Además, se considera que este proyecto de elaboración puede servir como forma de mitigación en Colombia frente a la sobre producción de termo plásticos de un solo uso que no tienen una correcta disposición final al momento de su desecho.

VIII. Análisis de restricciones

Para la solución seleccionada al problema planteado es necesario determinar las restricciones de esta en los siguientes aspectos.

8.1 Ambientales

Debido a que la solución a la problemática es ampliar el ciclo de vida del PP y que este no sea un termoplástico de un solo uso por su inadecuada disposición final, al implementar esta alternativa no se estaría afectando al medio ambiente, por el contrario, ayudaría a disminuir la contaminación. Con este proyecto se busca contribuir a 2 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, tales como el objetivo 12 Producción y consumo responsables, específicamente en la meta 12.5 “De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización” y el objetivo 14 Vida submarina en la meta 14.1 “De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes” (Gámez, 2015).

8.2 Sociales

La solución no afecta negativamente a la sociedad, ya que se está recolectando los envases y tapas en PP, a fin de luego fabricar una montura para gafas que le sirva a la sociedad con alguna discapacidad visual o para aquellas que requieran esta montura para unas gafas de sol. Sin embargo, es necesario que las personas separen de una manera adecuada sus desechos, para de esta manera poder ahorrar tiempo a la hora de su recolección.

8.3 Económicas

Si no se hace una recolección directa del PP, es necesario recurrir a lugares donde se recicla el plástico y otros materiales, de acuerdo con Acoplásticos (2021) el precio del plástico rígido está en \$1586 por kilogramo, este precio se obtuvo mediante encuestas realizadas a personas que recolectan el material que se puede reciclar, siendo el más costoso de todos los tipos de plásticos. Uno de los factores que explica el incremento de precios en los mercados de aprovechamiento es el aumento en los precios internacionales de insumos y materias primas vírgenes, los cuales, en muchos casos, compiten directamente con los productos reciclados en el mercado nacional. Por lo anterior, esto generaría una restricción por el incremento del costo del material.

8.4 Capacidad de fabricación

Para la fabricación de las monturas para gafas es necesario tener equipos de triturado e inyección para lograr una producción a gran escala del producto, realizando una búsqueda en internet se tiene que una maquina trituradora cuesta entre \$2.500.000 y \$1.700.000 y la máquina de inyección cuesta entre \$5.000.000 y \$3.500.000, por lo tanto, mientras se obtienen las maquinas necesarias para producir en cantidad, habrá limitaciones en cuanto a la producción y tiempo ya que este se realizaría de forma manual. Por tal razón, el sistema de producción empleado para este proyecto será el de Producción por proyecto o bajo pedido en este esquema, el proceso de fabricación genera un producto específico o personalizado para cada cliente, lo cual requiere una alta dosis de planificación para adaptarse a las necesidades del comprador (UNEA, 2019).

8.5 Éticas

Como restricciones éticas, no se evidencia alguna por parte del producto creado ya que aporta al consumidor, confianza, comodidad, accesibilidad y un precio asequible que no compromete de ninguna manera la integridad del consumidor ni se realizan prácticas que vayan en contra de los lineamientos estipulados por el Gobierno colombiano y que se encuentran presentes en el marco legal de este documento.

8.6 Salud y seguridad

Como componente en salud y seguridad, las restricciones referentes a su manipulación yacen en su componente elástico gracias al polipropileno reprocesado que en casos extremos podría no ser demasiado seguro si se trata de doblar el marco por puntos no aptos para forzar; incurriendo en rotura del marco y provocando posibles lesiones por piezas filosas. Sin embargo, no existen riesgos de salud visual, respiratoria o de contacto que pongan en peligro la salud y seguridad del cliente.

8.7 Políticas

Finalmente, en cuanto a restricciones de carácter político, para el proyecto se requiere tener en cuenta la parte legal planteada en el capítulo VI, en el que se puede observar las diferentes normas en la Tabla 3 para un manejo adecuado de los residuos de PP y su disposición final.

IX. Especificaciones de ingeniería

El diseño para la obtención del material en la montura de gafas inicia con la recolección de 15 a 20 empaques de paletas que se identifiquen con el número cinco del triángulo de möbius (Ver Figura 21), pasaran por un proceso de limpieza para retirar los posibles residuos de helado, chocolate, etc. Una vez limpias los empaques se van a triturar en una licuadora sólida durante cinco minutos para minimizar su tamaño. Después de que el papel envoltorio termine su proceso en la licuadora sólida, se procede a llevar el producto obtenido a un calentamiento a 160 ° C que es la temperatura de fusión del polipropileno.

Posteriormente el material fundido pasa a un proceso de inyección donde tomara la forma deseada (Ver Figura 27, Figura 28 y Figura 29),Luego se dejará reposar el material por unos 30 minutos para que tome la forma del molde y se enfríe, una vez transcurrido el tiempo finalmente se retira del molde las monturas de gafas. En la Figura 22 se puede ver el proceso y en la Figura 23 el diagrama de flujo para la obtención del producto.

Figura 21. *Triangulo de möbius*



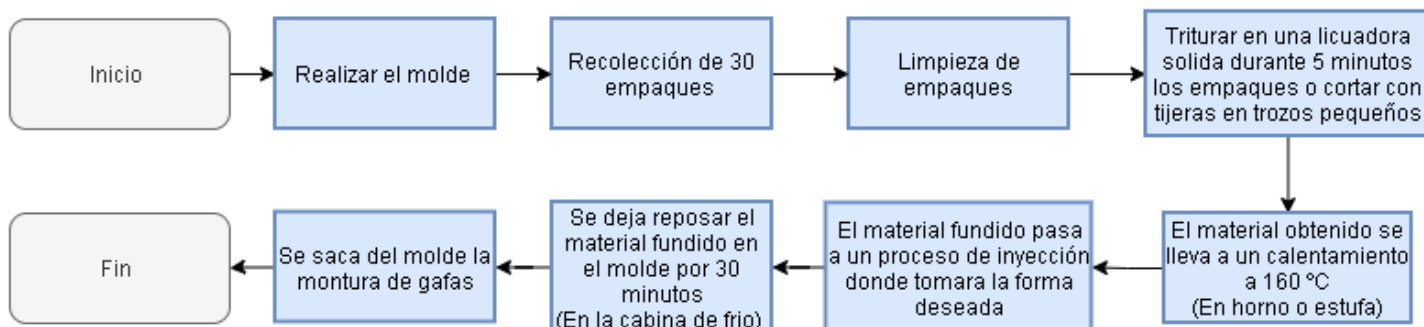
Nota. Número cinco que identifica al polipropileno. Fuente: Curiosando.com,2018.

Figura 22. Procedimiento para la obtención de la montura para gafas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Diagrama de flujo del proceso para la obtención de montura de gafas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

9.1 Equipos empleados durante el proceso para la obtención de montura de gafas

A continuación, en la Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se puede observar los equipos que se emplearan para obtener el material que se necesita para realizar la montura de gafas, cabe resaltar que estos pueden cambiar de acuerdo con su disponibilidad, sin embargo, deben cumplir con las mismas características o funciones similares de cada uno de los equipos.

Figura 24. *Procesador de sólidos y semisólidos*



Nota. Fuente: Homecenter, 2021.

Figura 25. *Horno eléctrico*



Nota. Fuente: QUIMICOMPANY, 2021.

Figura 26. Cabina de frío



Nota. Fuente: fisherscientific, 2021.

XI. Análisis de Costos

11.1 Proyección y costos a nivel industrial

Para el análisis de costos a nivel industrial se emplea un simulador financiero diseñado por Mauricio Reyes Giraldo, docente de la universidad EAN y se toman en cuenta ciertos aspectos como la adquisición de maquinaria especializada que permita la automatización de procesos como el triturado del papel y la inyección del polipropileno caliente en el molde de la montura, además de ello se contempló una nómina de 5 personas en total de las cuales se destinarán 3 a la elaboración del producto y dos a la parte de la gestión de publicidad y ventas de las monturas. Posteriormente se incluyeron como gastos fijos los servicios públicos que en el costo del ensayo no se tuvieron en cuenta por su poca relevancia en el periodo de experimentación.

Se hace la aclaración pertinente de que la materia prima necesaria para la elaboración de las monturas de gafas provendrá de empaques reciclados de polipropileno, por lo cual se plantea en compañía de la alcaldía de Bogotá realizar una colaboración para obtener la materia prima que no se aproveche en las prácticas de reciclaje por parte de las entidades recicladoras de la ciudad y con ellos obtener sin costo y en pro del medio ambiente la cantidad de polipropileno necesario para elaborar las gafas.

A continuación, en la tabla 4 se establece punto por punto los componentes relevantes en los costos de producción de las monturas de gafas con polipropileno reciclado; no se tiene en cuenta el costo de mantenimiento puesto que el primer año al iniciar con la manipulación de la máquina se desconocerán las necesidades de esta, por ende, vendrá adicionado en el margen de costos extras, pero no se tendrá contemplado en la Tabla 4.

Tabla 4. Costos de producción

Costos de producción				
Producto/Servicio	Aspectos alrededor del producto	Costo Mensual	Costo Primer Año	Costo Inicial
Molde de metal para inyección	Molde de la montura de gafas	\$ 416.666,67	\$ 5.000.000,00	\$ 109.810.000,00
Trituradora de papel	Trituradora capaz de procesar empaques de polipropileno	\$ 208.333,33	\$ 2.500.000,00	
Servicios públicos	Agua, gas y Luz	\$ 290.000,00	\$ 2.760.000,00	
Mano de obra	Operarios y Administrativos	\$ 6.000.000,00	\$ 72.000.000,00	
Supervisión y laboratorio	Seguridad	\$ 8.100.000,00	\$ 8.100.000,00	
Materia prima	Empaques de comida marcados con el número 5 o las iniciales PP	\$ -	\$ -	
Maquinaria de inyección para plástico	Inyector al molde del polipropileno	\$ 1.620.833,33	\$ 19.450.000,00	
	Costo unitario de elaboración	\$ 76.256,94		

Nota. Tabla basada en información recolectada de internet y realizada en el simulador de costos de la Universidad EAN,2021. Fuente: Elaboración propia.

En adición a esto, calculando una proyección a 5 años desde el 2022 y con un crecimiento porcentual año a año de 5% se establecen los valores de la Tabla 5.

Tabla 5. Proyección a 5 años

ANO		PROYECCIONES				
		2022	2023	2024	2025	2026
VENTAS ANUALES	\$	288.000.000,0	\$ 313.286.400,0	\$ 356.607.643,4	\$ 424.042.148,8	\$ 526.405.923,5
COSTOS ANUALES	\$	183.016.666,7	\$ 193.320.505,0	\$ 213.928.470,8	\$ 247.493.847,9	\$ 298.774.573,2
MARGEN OPERATIVO	\$	104.983.333,3	\$ 119.965.895,0	\$ 142.679.172,6	\$ 176.548.300,9	\$ 227.631.350,3

Nota. Tabla realizada en el simulador de costos de la Universidad EAN,2021. Fuente: Elaboración propia.

Como inversión inicial para la creación del micro laboratorio para la elaboración de las gafas con polipropileno reciclado se tiene en cuenta entre los valores aspectos como la maquinaria, la publicidad, los moldes y seguridad del laboratorio en cuestión; todo esto genera una inversión inicial de 37'550.000 COP y los costos por ítem se ven reflejados en la Tabla 6.

Tabla 6. Inversión inicial

INVERSIÓN INICIAL	
Molde	\$ 5.000.000,00
Trituradora	\$ 2.500.000,00
Inyector de material plástico	\$ 19.450.000,00
Supervisión y Laboratorio	\$ 8.100.000,00
Publicidad digital	\$ 2.500.000,00
	\$ -
	\$ -
	\$ -
TOTAL INVERSIONES	\$ 37.550.000,00

Nota. Tabla realizada en el simulador de costos de la Universidad EAN,2021. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la planeación del proyecto en cuestión, se requiere realizar una inversión por parte de los propietarios del proyecto de 8'000.000 COP y una financiación por parte de una entidad bancaria que manee una tasa de interés en promedio de 18% para realizar un préstamo por 82'759.917 COP. Siendo este el caso, el comportamiento para saldar la deuda se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Préstamo

TASA DE INT ANUAL CRÉDITO
18,00%

CALCULO DEL PRESTAMO				
ANOS	CUOTA A PAGAR	ABONO A CAPITAL	INTERESES	SALDO DE LA DEUDA
0				\$ 82.750.917
2022	\$ -26.461.910	\$ -11.566.745	\$ 14.895.165	\$ 71.184.172
2023	\$ -26.461.910	\$ -13.648.759	\$ 12.813.151	\$ 57.535.414
2024	\$ -26.461.910	\$ -16.105.535	\$ 10.356.374	\$ 41.429.878
2025	\$ -26.461.910	\$ -19.004.531	\$ 7.457.378	\$ 22.425.347
2026	\$ -26.461.910	\$ -22.425.347	\$ 4.036.562	\$ 0

Nota. Tabla realizada en el simulador de costos de la Universidad EAN,2021. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para establecer la viabilidad del proyecto en materia económica y con una tasa mínima de rentabilidad pensada por los líderes de este proyecto con un valor de 20% se

calcula un periodo de recuperación de la inversión en un plazo de 3,96 años desde el 2022 y se evidencia el siguiente flujo de caja evidenciado por la Tabla 8. Frente a los valores estipulados y la idea de negocio establecida se tiene una tasa interna de retorno del 27,6%.

Tabla 8. Flujo de caja

Tasa mínima de rentabilidad esperada por los emprendedores (TMR):		20,00%				
FLUJO DE CAJA DE PROYECTO	INVERSION AÑO 0	2022	2023	2024	2025	2026
	-\$90.750.916,67	\$6.172.811,61	\$19.806.000,94	\$37.275.941,62	\$64.385.442,54	\$106.977.830,43
VALOR PRESENTE NETO DEL PROYECTO =	\$ 23.761.054,93					
TASA INTERNA DE RETORNO =	27,64%					
PERIODO DE RECUPERACIÓN:	3,96 AÑOS					

Nota. Tabla realizada en el simulador de costos de la Universidad EAN,2021. Fuente: Elaboración propia.

XII. Prototipado

Para la elaboración del prototipo utilizamos los siguientes materiales que se tenían a disposición: Agua, un recipiente de vidrio, unas gafas 3D, empaques de helados, papas, galletas y demás alimentos hechos en PP, una olla, tijeras, horno, estufa, nevera, lima y lija además de estos se compraron los siguientes materiales (ver Tabla 9).

Tabla 9. *Costos para la elaboración del prototipo*

ITEM	VALOR
2 siliconas acéticas para ventanería	\$30.000
Jabón líquido para cocina	\$3.000
Total	\$33.000

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para realizar el molde se mezcló agua con el jabón líquido para que al adicionar la silicona esta no se pegara, luego de tener la silicona sin sensación pegajosa, se incorporó en el recipiente de vidrio y cuando esta tomo la forma del recipiente se acomodaron las gafas 3D para de esta manera obtener el molde (Ver Figura 30).

Figura 30. *Molde montura de gafas*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se lavaron los empaques, se cortaron en trozos pequeños en la olla y se llevó a una temperatura constante de 180°C, de esta manera se obtuvo un material semi sólido el cual después se llevó al molde y se realizó presión para que obtuviera la forma deseada. Finalmente se llevó a la nevera por unos minutos, se retiró del molde, y cada pieza se pulió obteniendo las partes de la montura para gafas.

Figura 31. *Laterales de la montura para gafas*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. *Parte frontal de la montura para gafas*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

XIII. Conclusiones

- Se recopiló información de artículos académicos que sirvieron como referencia de procedimientos y metodologías para el re-uso del polipropileno presente en los empaques de alimentos, en un nuevo material que permita la construcción de marco de gafas.
- Se adquirió suficiente información frente a la problemática de contaminación por plásticos y micro plásticos, así mismo se investigó como se le puede dar un manejo integral de los residuos que contienen el polímero y manipulación del polipropileno reciclado como materia prima para la producción de otros productos.
- Se logró diseñar y construir un molde para el material, teniendo como referencia unas gafas 3D, se realizó con silicona acética para ventanearía marca Sika, la cual soporta temperaturas entre -40°C y 190°C , siendo este un material adecuado para su posterior utilización.
- Se recolectó el polipropileno de empaques de alimentos y se realizaron ensayos en casa siguiendo el respectivo procedimiento (Ver Figura 23), obteniendo el material polimérico rígido y liviano que se esperaba para la montura de gafas.

XIV. Anexos

Simulador Costos Monturas con PP Reciclado-Grupo 3. Accesible desde:
https://universidadeaneducomy.sharepoint.com/:x:/g/personal/nquinte09850_universidadean_edu_co/EUbjZ-reIOVMopd5Q97uTiMB9KN1vfClqSqbltNMqD-lkA?e=WFECeM

XV. Referencias

- Abril Frontela, D (2017). *Polímeros en óptica y optometría*. Recuperado de:
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31151/TFG-G2953.pdf;jsessionid=2C6F36BDEFCCED490E52E11ADB1F615?sequence=1>
- Acoplásticos. (2021). *¿Qué es el Polipropileno?* Acoplásticos.org. Recuperado de:
<https://www.acoplásticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/38-opc-fag-pre6>
- Acoplásticos. (2021). *Precios de reciclaje | PlasTIC -Tecnologías e información para la economía circular-*. PLAS-TIC. Recuperado de: https://www.plastic.org/precios_de_reciclaje
- Aguirre, M. (2021). *Technical drawing, Wooden glasses, Eyewear design*. Pinterest. Recuperado de: <https://www.pinterest.es/pin/854417360534615791/>
- A. Kelly, D. Lannuzel, T. Rodemann, K.M. Meiners, H.J. Auman, *Microplastic contamination in east Antarctic sea ice*, Marine Pollution Bulletin, Volume 154, 2020, 111130, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111130>.
- Aquae Fundación. (2021). *Clasificación de los tipos de plásticos y su reciclaje*. Fundaciónaquae.org. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/tipos-de-plasticos/>
- Aroca, E. (2021). *El Reciclado Químico, una solución innovadora clave para alcanzar la circularidad de los plásticos*. Dynatec. Recuperado de: <https://dynatec.es/2021/02/15/el-reciclado-quimico-clave-para-la-circularidad-de-los-plasticos/>
- Bertolino Sanvezzo Paula; Branciforti Marcia (2021), *Recycling of industrial waste based on jute fiber-polypropylene: Manufacture of sustainable fiber-reinforced polymer composites and their characterization before and after accelerated aging*, Industrial Crops and

Products, Volume 168, 2021, 113568, ISSN 0926-6690,

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113568>

Cavalcante, D., Gong, F. (2020). *Resistencia al impacto de materiales para lentes oftálmicas*.

Recuperado de:

https://eprints.ucm.es/id/eprint/61676/7/TFG%20IMPACTO_Danilo_Cavalcante-Felipe_Gong_repositorio.pdf

Cerón, J., Eraso, M. (2016). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa para la fabricación de monturas para gafas, a partir del reciclado de materiales plásticos*.

Recuperado de:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7509/65811C416.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cóndor, G., & Guillermina, M. (2017). *Determinación de perfiles de temperatura para el proceso de extrusión de polipropileno virgen y polipropileno reciclado en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. URI: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6942>

Corso P., López A., Caleffi C., Dominguez. N., Diaz G. (2016). *Proceso de polipropileno*.

Recuperado de: <https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-de-polipropileno.pdf>

Curiosoando.com (2018). *"¿Qué propiedades tiene el polipropileno y para qué se utiliza?"*.

Disponible en <https://curiosoando.com/que-propiedades-tiene-el-polipropileno-y-para-que-se-utiliza>

Donoso, C. (2019). *Evaluación de la reacción de descomposición térmica de plásticos de polipropileno reciclado como fuente alternativa de combustibles*. Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo. Riobamba. URI

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/12387>

Ecoplas. (2020). *Reciclado de plásticos*. ecoplas.org. Recuperado de:

<https://ecoplas.org.ar/reciclado-de-plasticos/>

Elaplas. (2017). *Propiedades físicas polipropileno (pp)*. Studylib. Recuperado de:

<https://studylib.es/doc/6304916/propiedades-fisicas-polipropileno--pp->

elempaque. (2019). *Contaminación en Colombia puede desatar un tsunami plástico*. Recuperado

de: <https://www.elempaque.com/temas/Colombia-se-podria-enfrentar-a-un-tsunami-plastico+128876>

fisherscientífic. (2021). *Thermo Scientific™ Refrigeradores de laboratorio de alto rendimiento con puertas de vidrio Revco™*. Recuperado de:

<https://www.fishersci.es/shop/products/revco-high-performance-laboratory-refrigerators-glass-doors/p-4530682>

Galvis, N. (2014). *Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen*. Recuperado de:

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8278/Nataly_GalvisGuti%C3%A9rez_2014.pdf?sequence=2

Gómez, M. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Objetivos De Desarrollo

Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Garrido, X. (2020). *La óptica y el reciclaje*. Recuperado de:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/342793/TFG_Xavier%20Garrido%20Exposito.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, S. (2019). *Situación de los plásticos en Colombia | Uniandes*. Derecho.uniandes.edu.co.

Recuperado de: <https://derecho.uniandes.edu.co/es/informe-situacion-actual-de-los-plasticos-en-colombia>

Homecenter (2021). *Procesador de Alimentos 8 Tazas 2 Velocidades FP4200B 450W*.

Recuperado de: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/331405/procesador-de-alimentos-8-tazas-2-velocidades-fp4200b-450w/331405/>

J. Qu, Z. Huang, Z. Yang, G. Zhang, X. Yin, Y. Feng, H. He, G. Jin, T. Wu, G. He, X. Cao,

Industrial-scale polypropylene-polyethylene physical alloying toward recycling,

Engineering (2021), doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.02.021>

K. Kuusela, V. Uusitalo, J. Ahola, J. Levänen, *The transformation of plastics production from net positive greenhouse gas emissions to net negative: An environmental sustainability assessment of CO₂-based polypropylene*, Journal of CO₂ Utilization, Volume 52, 2021, 101672, ISSN 2212-9820, <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101672>.

López, G., & Olazar, S. (2016). *Reciclado de Polipropileno*. Biblioteca digital UNCUIYO.

Recuperado de: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8467/planta-de-reciclado-de-polipropileno.pdf

Lorena M. Ríos-Mendoza, Jorge Feliciano Ontiveros-Cuadras, Daniela León-Vargas, Ana

Carolina Ruiz-Fernández, Martín Rangel-García, Libia Hascibe Pérez-Bernal, Joan-

- Albert Sánchez-Cabeza, *Microplastic contamination and fluxes in a touristic area at the SE Gulf of California*, Marine Pollution Bulletin, Volume 170, 2021, 112638, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112638>.
- Manzanos, G. (2018). *Aprovechamiento de los Residuos Plásticos Generados en el Municipio de Arauca desde la Perspectiva del Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3414/ARTICULO.Aprovechamiento%20de%20Residuos%20Pl%C3%A1sticos%20Arauca_VF.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Markus Gall, Georg Steinbichler, Reinhold W. Lang, Learnings about design from recycling by using post-consumer polypropylene as a core layer in a co-injection molded sandwich structure product, Materials & Design, Volume 202, 2021, 109576, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109576>
- Mayorga, D. (2020). *Ciclo de vida del plástico (polipropileno) como residuo domiciliario en el barrio la Bella Estancia, Localidad 19, Bogotá D.C según la NTC ISO 14040*. Repository UNAD. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/35541/dmayorgam.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Melo, P.M.A., Macêdo, O.B., Barbosa, G.P. *et al. Reuse of Natural Waste to Improve the Thermal Stability, Stiffness, and Toughness of Postconsumer Polypropylene Composites. J Polym Environ* **29**, 538–551 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01907-4>
- MINIVIVIENDA. (2015). *Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)*.

Recuperado de: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/presentacion-modulo-ii-metodologia-formulacion-implementacion-seguimiento-control-y-actualizacion-de-pgirs.pdf>

Monzó, M. (2015). *“Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno”*. Riunet. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58776/Monz%C3%B3%20-%20Investigaci%C3%B3n%20de%20la%20influencia%20del%20tipo%20de%20gas%20utilizado%20en%20el%20plasma%20atmosf%C3%A9rico%2C%20en%20la%20..pdf?sequence=1>

Nicola, S. (2021). *Cómo plantar con éxito en una maceta sin orificios de drenaje*. ENCASA. Recuperado de: <https://encasa.elpais.com.uy/aire-libre-jardin-y-mascotas/como-plantar-con-exito-en-una-maceta-sin-orificios-de-drenaje/>

Ochoa, N. (2017). *Propuesta integral para el aprovechamiento del plástico a partir de los residuos sólidos resultantes del embalaje de plaguicidas (residuos Respel)*. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8397/6684O16.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

QUIMICOMPANY. (2021). *Baño María*. Recuperado de: <https://quimicompany.com.co/productos-2/equipos-para-laboratorio-2/banos-para-laboratorio/bano-maria-3/bano-maria-2/>

Quintero, L., Aristizábal L., Ocampo R. (2016) *El aprovechamiento una alternativa social y ambiental para el manejo de los residuos sólidos reciclables para la jurisdicción de la corporación autónoma regional de las cuencas de los Ríos Negro Nare – “Cornare”*.

Recuperado de:

http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2041/1/Aprovechamiento_Residuos_Reciclables_Cornare.pdf

Roymaplast S.L®. (2020). *Propiedades físicas y químicas del polipropileno | Manipulación de plásticos especiales*. roymaplast. Recuperado de: <http://roymaplast.com/propiedades-fisicas-y-quimicas-del-polipropileno/>

Rueda, D. (2021). *Reciclaje Mecánico*. encolombia. Recuperado de:

<https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/reciclaje-mecanico/>

SEO BirdLife & ecoembes. (2019). *IMPACTO DEL ABANDONO DEL PLÁSTICO EN LA NATURALEZA*. Recuperado de

https://proyectolibera.org/dondeacabalabasuraleza/img/Impacto-de-lospl%C3%A1sticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf

Shu-Qing Wang, Bin Yang, Dan Wang, Qian-Lei Zhang, Ji-Bin Miao, LiFeng Su, Ru Xia, Jia-Sheng Qian, Peng Chen & You Shi (2020) *Investigation on crystallization kinetics and solidification behavior of isotactic polypropylene (iPP) using an enthalpy transformation method*, Phase Transitions, 93:10-11, 1067-1079, DOI: 10.1080/01411594.2020.1837376

Squeasy. (2018). *Qué es el polipropileno: Toxicidad, usos, propiedades y más*. Squeasy.

Recuperado de: <https://www.squeasy.es/que-es-el-polipropileno-toxicidad-usos-propiedades-y-mas/>

Suárez, A. (2018). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento del plástico en el relleno sanitario de Quinchía, Risaralda*. Recuperado de:

<https://core.ac.uk/download/pdf/71397708.pdf>

Todo en polímeros. (2020). *La Pirólisis como Fuente de Materia Prima*. WordPress.com.

Recuperado de: <https://todoenpolimeros.com/2020/08/14/la-pirolisis-como-fuente-de-materia-prima/>

Tuya, M. (2019). *PET, PVC, PS. . . ¿qué tipos de plásticos se pueden reciclar y cuáles no?*

20minutos. Recuperado de: <https://www.20minutos.es/noticia/4085684/0/que-tipos-plastico-pueden-reciclar/>

Vélez, J., & De La Hoz, E. (2016). *Modelo lineal para estimar el índice de degradación a la procesabilidad del polipropileno reciclado debida a la adición de estabilizante.*

Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 24(1), 85–93. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000100008>

Villegas, R., Aguiar, J., & Loria, L. (2018). Diseño de mezcla asfáltica con materiales de

desecho. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC*, Volumen 8.