

REVISIÓN DE LOS PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE  
COMBUSTIBLES PROVENIENTES DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Jessika Andrea Cantor

Mayerly Andrea Peña cuta

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO - UAN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL

BOGOTÁ D.C

2021

# REVISIÓN DE LOS PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES PROVENIENTES DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Jesika Andrea Cantor

Mayerly Andrea Peña cuta

Proyecto de grado “monografía” presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director (a):

Ingeniero Marcos Ramos

Director (a):

Geólogo Carlos molina

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO - UAN

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL

BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

2021

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director de trabajo de grado

---

Firma del jurado

**Dedicatoria,**

A DIOS : por habernos permitido, a pesar de las adversidades y dificultades del camino, lograr los alcances pertinentes dentro de nuestra formación como futuras ingenieras competentes.

A nuestros padres: por el inmenso apoyo brindado a lo largo de nuestra formación académica. Por habernos forjado como las personas que somos hoy en día y por brindarnos su acompañamiento moral, espiritual y económico. Su motivación día a día con el de que lograremos nuestros objetivos a nivel académico y profesional hoy se ve reflejado.

## **Agradecimientos**

Queremos dejar plasmado nuestro más grato agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Universidad Antonio Nariño, facultad de ingeniería ambiental y civil, que con sus conocimientos y metodologías de enseñanza contribuyeron grandemente en nuestra formación, permitiéndonos desempeñarnos de manera óptima y profesional al momento de la realización de nuestra monografía.

De antemano, agradecemos al Ingeniero Marcos Ramos y a nuestro director de monografía ,y al Co Director Carlos Molina por su constante apoyo, guía y orientación. durante el proceso de este trabajo.

## Resumen

En la actualidad la generación de residuos sólidos es uno de los más grandes problemas ambientales que afectan directamente al medio ambiente y la humanidad. Por la composición del plástico lo hace un elemento resistente a cualquier tipo de tratamiento para ser degradado, debido a esto, cuando el plástico se vuelve residuo y no se tiene una buena gestión o buen manejo, trae consigo consecuencias graves para el medio ambiente y para la salud humana. Esta problemática va en aumento día a día por no tener un sistema adecuado de reciclaje y una buena gestión para tratamiento de residuos plásticos. Por lo anterior se debe trabajar en implementar nuevas metodologías innovadoras, efectivas y viables, y que sean amigables con el medio ambiente para así poder dar una posible solución con el medio ambiente, y de igual manera aprovechar este tipo de material para generar energía.

Sin embargo existen diversas metodologías para el tratamiento de residuos de plásticos, en esta monografía vamos a enfocarnos en un proceso efectivo para mitigar este tipo de contaminación, el cual es de gran importancia, ya que como resultado genera combustible proveniente de plástico.

**Palabras clave:** pirólisis, pirólisis térmico, pirólisis catalítica, aspen plus, polímero, desechos, residuos, nano plástico, reactor, descomposición, volatilización, hidrocarburo.

## Abstract

Currently the generation of solid waste is one of the greatest environmental problems that directly refers to the environment and humanity. Due to the composition of the plastic, it is an element that makes it resistant to any type of treatment to be degraded. Due to this, when the plastic becomes

residual and there is not a good management and a good handling brings with it serious consequences for the environment and for human health. This problem is increasing day by day due to not having an adequate recycling system and good management with this type of plastics. Therefore, work must be done to implement new, innovative, effective and viable methodologies that are friendly to the environment in order to provide a possible solution to the environment, and in the same way take advantage of this type of material to generate energy.

However, there are several methodologies for the treatment of plastic waste, in this monograph we are going to focus on one of these processes, which is effective to mitigate this type of contamination and is also of great importance, since as a result it generates fuel from plastic.

**Keywords:** pyrolysis, thermal pyrolysis, catalytic pyrolysis, aspen plus, waste, waste, nano plastic, reactor, decomposition, volatilization, hydrocarbon.

## CONTENIDO

1.	12.	32.1.
	32.2.	33.
	43.1	43.2
	43.4	74.
	105.	126.
	127.	147.1
	147.2	147.3
	157.4	157.5
	158.	<b>¡Error! Marcador no definido.8.1</b>
	178.2	279.
	31I.	33II.
	34III. Fuentes de contaminación y producción del plástico	35
	IV.	<b>¡Error! Marcador no definido.Pirólisis catalítica</b>
	38	
3939 40VI 4610		4711.
	4912.	5413.
	<b>¡Error! Marcador no definido.13.</b>	61



### **Lista de figuras**

figura 1. código del plástico	5
figura 2 Proceso general del pirólisis	11
figura 3 Metodología	19
figura 4 Esquema proceso de pirólisis por medio del software Aspen Plus	43
figura 5 Esquema Reactor de pirólisis para obtención de combustibles	52

**Lista de tabla**

Tabla 1 Tipos de plásticos y usos más comunes	5
Tabla 2 Contenidos energéticos de algunos plásticos	7
Tabla 3 Cuadro comparativo de monografías consultadas	17
Tabla 4.presupuesto de materiales para construcción de reactor casero	59

### **Lista de gráficos**

Gráfico 1 variaciones tipo de plástico PET	46
Gráfico 2 variaciones tipo de plástico PEAD	47
Gráfico 3 Datos variaciones para el tipo de plástico PEBD	48
Gráfico 4 Datos variaciones para el tipo de plástico PS	49
Gráfico 5 Datos variaciones para el tipo de plástico PP	50

### **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1	62
Anexo 2	63
Anexo 3	64
Anexo 4	65
Anexo 5	66
Anexo 6	66
Anexo 7	67

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de plástico empezó a mediados del siglo XIX en Estados Unidos, mediante la utilización de combustibles fósiles, este hallazgo se realizó con la finalidad permitió reducir gastos en la producción de bienes comunes o elementos para el uso cotidiano, por lo que años más tarde y después de arduas investigaciones al material, fueron descubriendo las propiedades de los polímeros para el desarrollo y uso del plástico, y es así como se conoce hoy día (Mendoza, 2016). En la actualidad, la generación de residuos sólidos es uno de los mayores problemas ambientales que afectan seriamente los diferentes ecosistemas del planeta tierra. Los componentes poliméricos presentes en los residuos urbanos que no se gestionan adecuadamente pueden tener graves consecuencias, que afectan no solo a la vida silvestre sino también a la salud del ser humano. La incapacidad de los sistemas de reciclaje y gestión de residuos para hacer frente al aumento de la producción de polímeros ha agravado el problema. Por lo tanto, es necesario considerar métodos innovadores, efectivos y factibles que puedan encontrar soluciones utilizando vigorosamente dichos materiales y reduciendo el impacto en el medio ambiente. Desde este punto de vista, se propone un método de pirólisis a escala de laboratorio para el reciclaje químico para obtener líquidos convertibles en posibles combustibles como fuentes de energía para máquinas e industrias, es una forma factible de incrementar el porcentaje de reciclaje.

La industria del plástico ha crecido de tal manera que es estimada una de las más sólidas y abundantes en cuanto de rentabilidad se habla, puesto que su producción es económica y abundante con una vida útil muy corta. Por lo tanto, genera una gran cantidad de residuos sólidos tanto urbanos como industriales. Ésto conlleva a una gran problemática a nivel mundial, debido a que su composición química no los hace biodegradables. El consumo de este material se ha disparado en los últimos años debido a la alta demanda que está generando. Otro punto de esta problemática es la sobrepoblación actual, este fenómeno demográfico causa deterioro ambiental, debido al

consumismo compulsivo. En el caso de Colombia para el año 2016 se produjeron más de 1,3 millones de residuos sólidos provenientes de los plásticos, lo que ha generado una gran problemática ambiental debido a la alteración de los suelos y ecosistemas de los rellenos sanitarios como lugar de disposición final de estos residuos. (Jaime & Cadavid, 2019).

Es así que nace un método factible a utilizar que involucre toda clase de residuos plásticos independientemente de sus características. Este método es conocido como reciclaje químico. Por medio de pirólisis esta técnica lleva el material a altas temperaturas bajo ausencia total de oxígeno con el fin de modificar las cadenas moleculares para pasarlas a un menor tamaño es decir crear pequeñas cadenas moleculares, estas se van separando debido a su densidad por lo tanto generan nuevos componentes, entre los cuales podemos encontrar gases incondensables, aceites y carbonilla, estos son utilizados como combustibles y fuente de energía (Torres & Castañeda, 2018).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Estudiar el proceso de pirólisis de los diferentes tipos de plásticos para la producción de combustibles sintéticos a partir de residuos plásticos de la industria de alimentos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información sobre el proceso de la pirólisis en material plástico para la obtención de biocombustibles a partir de información primaria y secundaria.
- Describir los tipos de polímeros con mayor potencial para la producción de biocombustibles con base en la pirólisis.
- Realizar un manual del proceso de la pirólisis para la conversión de los residuos plásticos en aceite pirolítico y posterior destilación para la obtención de biocombustible como prueba piloto.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 El plástico y sus tipos de composición

Es un material sintético formado por polímeros a los cuales se les puede dar forma en contacto con el calor. El plástico se clasifica en diferentes tipos y posee características especiales; entre ellas una temperatura determinada para el moldeamiento del cual depende su textura, si es rígido o es blando, esto se debe a que sus compuestos son netamente químicos con forma de cadena, químicamente este material es conocido como polímeros (PlasticsEurope 2019).

Este material tiene diversos tipos de composiciones como, por ejemplo:

- El polietileno (PE)
- Poliestireno (PS)
- Polipropileno (PP)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietilentereftalato (PET)
- Poliamidas (PA).

A continuación, se muestran los tipos de plásticos y su código de identificación.

En la Figura 1 se identifica el tipo de plástico y código de identificación.



Figura 1. Código del plástico

Fuente: (Espinosa, 2009)

A continuación, se presentan las abreviaturas del plástico y los posibles usos en la tabla N°1

Tabla 1 Tipos de plásticos y usos más comunes

CÓDIGO	ABREVIATURA	MATERIAL	USOS COMUNES
1	PET	Polietileno Tereftalato	Bebidas carbonatadas
2	PEAD	Polietileno A densidad	Envases de detergentes y shampoo, bolsas etc.
3	PVC	Policloruro de vinilo	Tubos, cables, cortinas, ducha, juguetes
4	PEBD	Polietileno B densidad	Envases de películas finas, pañales
5	PP	Polipropileno	Tapas, etiquetas, baterías etc.
6	PS	Polietileno	Envases de espuma, vasos y cubiertos
7	Otros	Plásticos no seleccionados	Varios

Fuente (Espinosa, 2009)

El Poliestireno (PS) es el plástico más plano y sencillo basado en moléculas de estireno. Su temperatura base está en los 240 °C. Se encuentran tres tipos generales de películas de poliestireno: para propósitos generales y PS orientado, PS de alto impacto). Los usos más importantes que tiene los materiales de poliestireno son: empaques de bebidas y empaques de alimentos y etiquetas. (Scott ,1991)

El polipropileno (PP), es un termoplástico generando gran resistencia a los solventes químicos, es ligero e inodoro y su costo de fabricación es muy bajo, por lo que se utiliza para productos que contienen alimentos, pañales desechables, componentes automotrices, cuerdas, etc. (Scott ,1991)

El polietileno tereftalato (PET) es un poliéster, termoplástico, con alto rango de cristalinidad, resistente al roce y la erosión que se usa extensamente en la industria textil, y en la elaboración de envases o botellas de un solo uso. (Espinosa, 2009).

### 3.2 Procedimiento para la disposición y reutilización de los plásticos

Los plásticos sufren procesos de descomposición tanto física como química, lo que conlleva su partición terminando en partículas de menor tamaño, incluso fibras. Los microplásticos y los nano plásticos son polímeros sólidos e insolubles que se clasifican por su tamaño; los microplásticos tienen un tamaño mayor a 100 nanómetros y menor de cinco milímetros mientras que los nano plásticos no tienen un tamaño predecible según US NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Ecologistas en Acción, 2019).

El reciclado químico es una forma de transformar los plásticos reciclados en partículas como lo son (los monómeros). Donde se reutilizan como materia prima para generar energía. Existen varias formas para realizar el reciclaje químico como por ejemplo: hidrogenación, pirólisis, gasificación y tratamiento con disolventes (Espinosa, 2009).

El procedimiento termolítico que se caracteriza por la descomposición del plástico, es necesario para la fractura de los componentes de polímeros. Este sistema tiene mayor diversidad y flexibilidad que requiere de altas temperaturas para poder generar pirólisis y gasificación y otros procesos que son habituales en refinería. Los polímeros son transformados a monómero, a biocombustibles gaseosos y líquidos, y a compuestos de base en la petroquímica. (Scott, 1991).

En la siguiente tabla se presenta el valor energético de cada material de plástico

Tabla 2 Valor energético de los tipos de plásticos

<b>MATERIAL</b>	<b>CONTENIDO ENERGÉTICO (Kcal/Kg)</b>
Mezclas de plastico	8.902
Polietileno PE	10.529
Poliestileno PS	9.128
Poliuretano	6.524
PVC	5.547
PET	5.550
PP	S//D

Fuente (Espinosa, 2009)

Como se evidenció anteriormente para el tipo de plástico PET, contiene una carga calorífica de 5.550 Kcal. /Kg ya que su fabricación no se utilizan aditivos ni modificadores. Y como resultado del proceso se obtiene dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O).

El PVC no debería estar en la categoría de combustibles, porque como resultado a los procesos de pirólisis generan compuestos fuertemente tóxicos como los (organoclorados). (Espinosa, 2009).

### 3.3 Pirólisis

La pirólisis es el proceso de descomposición y degradación de la biomasa a altas temperaturas (400° y 1000° C), en ausencia de oxígeno. Este proceso provoca cambios de composición química y física al material, es decir transforma la biomasa en partículas sólidas, gaseosas o líquidas como fuente alternativa para la generación de energía (Aracil, julio de 2008).

Los residuos de plásticos sirven como materia prima para generar combustible sintético por su gran poder calorífico, por lo cual puede ser usado para la producción de combustibles y de esta forma se pueden aprovechar todas las clases de plástico, aún aquellos deteriorados o con marcas graves del tiempo (Aracil, 2008)

La transformación de residuos plásticos va aumentando considerablemente la duración de la capacidad de los vertederos. En este caso el tema abordado “pirólisis” intenta demostrar que la gestión adecuada de los residuos plásticos, mediante, ayudará a aumentar la duración de los vertederos, al reducir y minimizar una fracción de dichos residuos (plásticos). (Espinosa, 2009).

Los desechos de plásticos son generados diariamente, se pueden dividir en 4 categorías:

- A. Plásticos con buena higiene, pero poco degradables
- B. Plásticos poco degradables, pero con contaminados con alimentos
- C. Mezcla de tipos de plásticos
- D. Mezcla de plásticos de residuos sólidos

La pirolisis se trata de romper las macromoléculas para transformarlas en moléculas de menor tamaño, además se puede usar para generar mezclas de residuos plásticos en combustibles sintéticos y derivados. Los compuestos que contienen carbono al ser residuos se desintegran dando origen a una mezcla de gases, hidrocarburos condensables y un residuo carbonoso o char (Mesa Upegui , Ortiz Rodriguez, 2016)

Los tres principales componentes que resultan de la pirólisis son:

- .La corriente de gas está compuesta por hidrógeno, metano, monóxido y dióxido de carbono, entre otros gases.
- La fracción condensable, contiene alquitranes o aceite con agentes.

- Un coque o char residual (carbono) del material inerte que entra al proceso.

En la siguiente Figura 2 se muestra el esquema de un proceso de pirólisis.



Figura 2 Proceso general del pirólisis

Fuente: adaptado de (Mesa Upegui , Ortiz Rodriguez, 2016)

### 3.3 Pirólisis térmica.

Es un proceso endotérmico que contienen gran energía y que necesita de temperaturas de por lo menos 350 a 650 °C, según el tipo de plástico a degradar. En algunos casos se necesitan temperaturas de alrededor de 900 °C para cumplir rendimientos de productos admisibles; Los experimentos realizados en térmico se han enfocado inicialmente en el polietileno, poliestireno y polipropileno.

La descomposición térmica del plástico (olefinas) implica en la integración de hidrocarburos con pesos moleculares altos y char o coque, que se pueden generar en diferentes cantidades según el tipo de plástico (Mesa Upegui , Ortiz Rodriguez, 2016)

Debido a los resultados que genera la pirolisis se determina que una fuente de energía alternativa ya que la energía alternativa es la búsqueda de todas aquellas energías limpias que se produce de forma natural, ubicando geográficamente las áreas específicas donde requieran este tipo de energía y donde sea útil para la sociedad (Cabello,2006).

#### **4. ESTADO DEL ARTE**

La contaminación que producen los materiales plásticos junto a la extracción de combustibles fósiles han llevado a buscar nuevas alternativas que reduzcan los niveles de contaminación; El proceso de pirólisis es un referente para el aprovechamiento y la valorización energética que utiliza el poder calorífico del plástico para transformarlo en combustible, de esta forma se fructifica todo tipo de plástico sin importar su estado de deterioro (Aracil,2008).

Países como Japón y España han sido modelos en el proceso de descomposición térmica, desarrollando desde los años 80 investigaciones y pruebas para la producción de energía en base a residuos plásticos, por ejemplo; España ha comprobado que a mayor temperatura más eficiente será el potencial para la obtención de combustibles (Aracil, 2008), Ecuador es uno de los países latino americanos que experimentó con polietileno de alta densidad comprobando la obtención de diésel y gasolina en fracciones líquidas de acuerdo a (Proaño y Crespo, 2009).

Una industria procedente de Canadá estudió la forma de convertir el plástico en combustible diesel y gasolina, para ello se utilizaron cinco toneladas de plástico que pueden ser transformadas en unos “( 1.057 galones 4.000 litros)”,(Anadolu, 2019) señaló el presidente de la industria, ubicada en la ciudad de Whitby, en el sur de Ontario. Esta tecnología usa temperaturas altas que hacen que el plástico se deshaga, en un proceso conocido como pirólisis. Los plásticos se parten en trozos pequeños y entran a un envase hermético a temperaturas altas y en ausencia de oxígeno, por lo que en realidad no se calcina a medida que se descomponen, Los plásticos que se manipulan son aquellos que no pueden reciclarse y por lo general terminan en botaderos de basura. (Anadolu, 2019)

En el país Nueva Escocia un proyecto utiliza procesos para alterar los residuos de plásticos en biocombustible. La industria Sustain Technologies Inc maneja alrededor de 50.000 toneladas de basura del municipio anual. Cuando el proyecto esté completamente en pie, se brindará biocombustible a familias que carezcan de este tipo de energía (Anadolu, 2019)

Se realiza un estudio en Medellín, “Colombia,” en el año 2001 en el que se emplea la cinética química con el proceso de volatilización de la biomasa, con la metodología de termo gravimetría, correlacionando los resultados con tamaños de partícula de 2 a 19 mm, y con índices de calentamiento de 10, 15 y 20 K min<sup>-1</sup>. Se implementó un sistema de primer orden. Se concluyó que el Análisis Termo gravimétrico (TGA) es una técnica donde se puede generar combustible sintético a través de la pirólisis (humedad, volátiles, carbón fijo y cenizas, análisis próximo), además también para analizar la cinética de su volatilización para la determinación de parámetros.( Ghaly, Erguden. 2001 )

La Universidad politécnica salesiana de Ecuador, desarrolló un estudio del proceso de la pirólisis de polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad y poliestireno, aprovechando los residuos

que generaban en sus instalaciones. El proceso utilizó temperaturas de 400°C con un tiempo de residencia de 30 minutos, por lo cual se determinó que el residuo de mayor porcentaje de fracción líquida es el poliestireno, sin embargo, los análisis realizados y experimentos hechos determinaron que el de mayor calidad y mejor rendimiento es polietileno de alta densidad categorizado como crudo de alta densidad. (Espinoza & Naranjo, 2014)

## **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El consumo continuo de energía que mantiene la economía actual, ejerce una tremenda presión sobre el planeta debido a la extracción de materias primas y la generación de residuos, consolidando una problemática ambiental de dos perspectivas: La explotación de materias naturales no renovables para generación de energía y problemas de disposición y tratamiento de residuos (Mavdt, 2008), es por eso que nacen alternativas como la pirólisis cuyo propósito es el aprovechamiento de los materiales plásticos para transformación energética, en este caso la obtención combustibles.

La alta demanda de materiales plásticos ha provocado grandes problemas ambientales y de salud, ya que gran parte de estos residuos terminan en vertederos, formando acumulaciones como focos de contaminación, sin contar los GEI que estos provocan, sumado a los procesos de extracción de combustibles fósiles y agotamiento de recursos no renovables.(M.B. Perdices,2003)

## 6. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el dramático incremento de desechos de plástico plantea un problema debido a la acumulación excesiva de estos, y la falta de métodos de tratamiento factibles para su correcta disposición final. En tan solo unas décadas, se ha vuelto omnipresente en diversos materiales debido a sus características (flexibilidad, durabilidad) y bajo costo. El desarrollo de métodos como el reciclaje químico para reducir los desechos plásticos y convertirlos en fuente de combustible ha permitido a las empresas cumplir con una política de gestión integral de plásticos.

La monografía propuesta tiene sentido desde el punto de vista ambiental y de bajo costo, porque la pirólisis proporciona una alternativa eficaz y limpia al proceso de los desechos plásticos. Además de reducir la contaminación, también tiene el beneficio agregado de producir el combustible que existe actualmente.

La creciente demanda de reciclaje de residuos plásticos plantea la cuestión de cómo y en qué producto convertirlos, de allí que este estudio se justifica, ante la necesidad de proponer un proceso de pirólisis catalítica, el cual ha demostrado ser una tecnología de recuperación de materia prima adecuada que puede convertir materiales poliméricos de desechos en monómeros, combustibles u otros materiales valiosos. En definitiva, el punto más importante es la efectividad del método, que se ha verificado a partir de los datos de Corma ( et al. 2003), debido a que el polímero fundido envuelve el catalizador, y cuando la relación catalizador / plástico disminuye, hay menos sitios activos disponibles para la conversión. Se puede decir que la producción de combustible líquido a partir de residuos plásticos mediante pirólisis es una forma novedosa y limpia que puede suministrar combustible y solucionar el problema de la contaminación, y tiene la ventaja de que se puede procesar sin clasificar los residuos.

## **7. METODOLOGÍA**

La metodología empleada para esta monografía nos permite exponer y analizar información recopilada de referencias bibliográficas, principalmente de revistas científicas y artículos académicos.

A continuación, se describe los parámetros para el desarrollo de la misma

### **7.1 Fase 1. Recopilación de información**

En esta fase se realizó la investigación de toda la información referente a la pirólisis en los residuos plásticos, la cual proviene de artículos científicos y proyectos de grado. Una vez analizada la información, se clasificaron todos aquellos documentos que contribuyen con la creación del manual para la obtención de hidrocarburos de residuos sólidos de los plásticos. Los referentes bibliográficos se obtuvieron por medio de la biblioteca UAN, apoyados también de base de datos como; “Scopus, Sciencedirect, Redalyc, Scielo y google académico siguiendo el lineamiento de las siguientes palabras clave “Pyrolysis, Plastic Waste, Hydrocarbons con el fin de encontrar artículos referentes al estudio de caso, se analizaron más de 40 artículos y se seleccionan los más apropiados de acuerdo al filtro realizado de los sitios información mencionadas anteriormente, Posteriormente se seleccionó de acuerdo a la información más completa y el método más eficiente para la elaboración del estado de arte del presente documento.

### **7.2 Fase 2 Análisis documental y elaboración del estado del arte del proceso de pirólisis.**

Se comprendió y analizó toda la información recopilada en la fase anterior con el objetivo de establecer un marco conceptual con gran información, para darle un buen soporte al documento de

monografía que se está realizando en este proyecto de grado, por otra parte, se seleccionó diferentes artículos clasificando los nacionales o internacionales, con el fin de elaborar un estado de arte acorde al proyecto.

### **7.3 Fase 3. Caracterización de los polímeros encontrados.**

En esta fase se identificó qué polímeros poseen mayor potencial para la producción de biocombustibles, esto se logra a través del análisis de los resultados expuestos, tanto en los proyectos de grado como en los artículos científicos, puesto que le da la veracidad y datos tangibles para la identificación de dichos polímeros que pasan por el proceso de pirólisis.

Esta comparación es fundamental, ya que determina la metodología para aplicar y la que se debe descartar, y llevar a cabo un proceso de pirólisis sin mayor contratiempo con los residuos plásticos.

### **7.4 Fase 4. Diseño de manual del proceso de pirólisis para la obtención de biocombustible.**

Se sistematizó y analizó la información disponible para realizar un manual práctico y didáctico como un valor agregado, donde se explique el procedimiento para efectuar pirólisis de forma sencilla y de fácil implementación en cualquier lugar o urbanización que lo requiera, con el fin de aprovechar los residuos sólidos plásticos, mitigando o reduciendo la problemática ambiental que estos generan.

### **7.5 Fase 5. Propuesta y discusión conceptual**

A Partir del manual y toda la información recopilada, se propone un análisis donde se va a tratar de discutir sobre este tipo de problema y así dar posibles soluciones de acuerdo a la problemática estudiada.

En la siguiente Figura 3 se refleja el esquema de la metodología

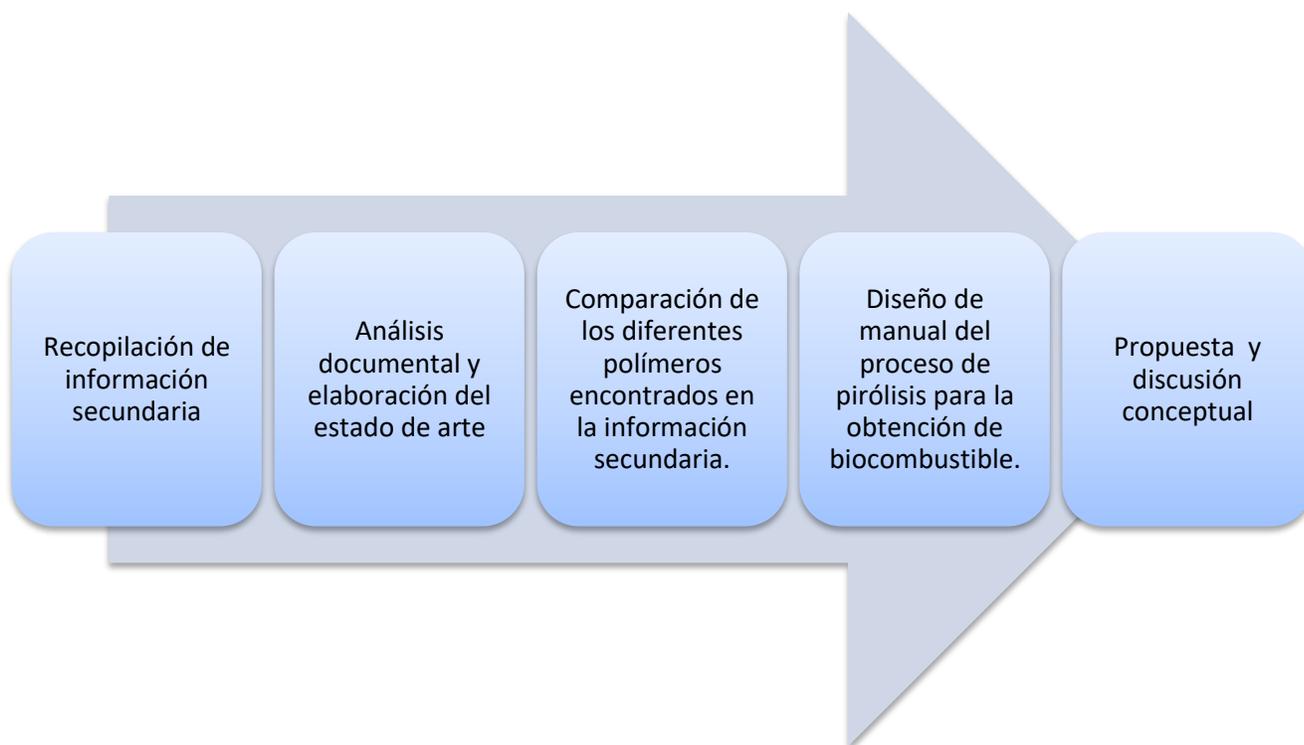


Figura 3 Metodología

Fuente Propia

## 8. RESULTADOS

De acuerdo con la información encontrada en proyectos de grado para carreras profesionales y artículos científicos, se realizó el cuadro comparativo que se evidencia en la Tabla 3, clasificando

para determinar la metodología, que tipo de residuo de plástico utilizaron, para el procesos de pirólisis y qué resultados obtuvieron, esto con el fin de poder determinar un manual para la elaboración de la pirólisis.

**8.1 Tabla 3: Cuadro comparativo de las monografías consultadas**

Título	Metodología utilizada y pirólisis empleada	Residuos del plástico que obtuvieron	Lugar de origen del artículo
Producción Hidrógeno a Partir De Plásticos Mediante Pirólisis Y Reformado Catalítico En Línea (Vadillo, 2014)	Utilizando un reactor convencional produjeron la pirólisis con el fin de realizar la conversión del PS a Hidrógeno, dicho residuo es llevado a los 500 grados Celsius con el fin de operar satisfactoriamente la pirolisis.	El plástico que utilizaron fueron residuos de EPS (poliestireno), con el fin de obtener hidrógeno	España
Obtención de combustibles a través de la pirólisis de plásticos de desecho (Díaz, 2016)	En el reactor de pirólisis llevan entre 400 a 500 grados Celsius la conversión de los desechos de los residuos plásticos, este es pasado por un cromatógrafo de gases con el fin de identificar los diferentes combustibles que pueda salir de la pirólisis.	Residuos de varias industrias y residuos plásticos urbanos fueron utilizados para la obtención de propano, butano, metano, etano, entre otros combustibles, la variedad de estos combustibles se debe a los diferentes	España

		residuos plásticos, con los cuales experimentaron.	
Obtención de combustibles a partir de residuos de polipropileno reciclado, mediante pirólisis catalítica (Taípe, 2020)	Metodología, clasificación fue adecuación de polímeros, muestreo de materia prima, para determinar la capacidad de catalizador, proceso de calorimetría para determinar la temperatura de fusión del polipropileno recolectado, caracterización del catalizador, procesamiento y resultados.	El resultado obtenido fue fracciones gaseosa con presencia de gas propano, helio y fracciones ligeras de gasolina con ramificaciones, de compuestos parafínicos y olefínicos.	Ecuador
Obtención de combustibles a partir de tereftalato de polietileno (pet) a escala de laboratorio mediante procesos de pirólisis y gasificación (Braulio & Pinos, 2020)	Se generó un proceso experimental, pues se efectuaron cambios deliberados en las variables de operación del proceso de pirólisis de residuos plásticos, a fin de determinar las condiciones más adecuadas para el proceso.	El rendimiento en la producción de hidrocarburos, al utilizar polipropileno y poliestireno, está alrededor del 70 %, mientras que para polietileno de alta o baja densidad está alrededor del 20 %.	Ecuador
	Se utilizó un reactor modelo batch para	El Polietileno de alta densidad (PEAD) se	

<p>Combustibles fuel-oil obtenidos de residuos plásticos mediante pirólisis (Campos &amp; Armas, 2018)</p>	<p>descomponer los tipos de plástico por medio del proceso pirolítico, se elaboró un recipiente de acero con capacidad para 2,5 kilogramos de residuos, se utilizó un termómetro para tener la temperatura controlada, en la parte superior de reactor modelo batch tiene un orificio por el cual estará conectado con un tubo por donde pasan los gases al momento de calentarse, luego este mismo tubo paso por un compartimiento en frío que logró condensar los gases, para posteriormente recuperar el producto líquido combustible</p>	<p>presentó como características físicas y químicas; Punto de inflamación 58.1 °C, Poder calorífico 43455.734 kJ/kg, Índice de cetano 43.721, Viscosidad 2.036 cst y Densidad 756 Kg/m<sup>3</sup>, superando al punto de inflamación de 34.86 °C obtenido de MANCHENO (2015) en su trabajo de. Aprovechamiento Energético de Residuos Plásticos obteniendo Combustibles Líquidos, por Medio de Pirólisis”.</p>	<p>Perú</p>
--	--	---	-------------

<p>Diseño y construcción de un reactor de pirólisis térmica, para el aprovechamiento de residuos plásticos de polipropileno, generados en la ESPOCH. (Jordan &amp; Zurita, 2018)</p>	<p>Se utilizaron reactores con un cilindro de acero inoxidable recubiertos por una carcasa con difusores de calor en su parte inferior. Se seleccionó resistencias eléctricas de banda flexible de cerámica 220v y 3000W, las mismas con temperaturas de hasta 830 ° C. El tipo de manómetro (Bourdon) también utilizó fibra de cerámica como aislante térmico en la parte superior del reactor.</p>	<p>Obtuvieron como resultado una mezcla de hidrocarburos comprendidos a su vez del 51 %, se obtuvo también el 47,9 % de fracción gaseosa y el 1% de fracción sólida</p>	<p>Ecuador</p>
<p>Desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno (Pintoja &amp; Paul, 2015)</p>	<p>El método se realizó de diferentes investigaciones recopilando referencias bibliográficas y resultados obtenidos Los parámetros como Temperatura , Presión , Velocidad de calefacción, Tiempo de residencia , Composición de la materia prima (polipropileno y poliestireno), Tipo de reactor (batch), Fracciones obtenidas .</p>	<p>Determinaron que a temperaturas mayores a 700 °C, para la degradación de los polímeros mayor es su rendimiento dando como resultado Gas, y que a temperaturas menores a 700 °C la mayor parte del producto producido es sólido como el carbón activado según los estudios de Czernik et al., (1990)</p>	<p>Ecuador</p>

<p>Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis (Mendoza, 2016)</p>	<p>La metodología utilizada se basó en la normativa NTE INEN 2634:2012 “Disposición de desechos plásticos post-consumo” para su clasificación, antes de la trituración e ingreso al reactor, también la determinación de variables como la temperatura, el tiempo de residencia y los tipos de residuos plásticos, seguido de un análisis de la fracción obtenida, y posterior análisis en el cromatógrafo de gases.</p>	<p>Determinan que el PS es el residuo plástico que produce más fracción líquida y que puede ser utilizado como combustible según (PT. Williams 1998), el estudio dice que percibieron un olor característico de la gasolina y el diésel, También Sin determinan que del PET se obtiene gran fracción sólida, para la producción de carbón activado de acuerdo(Almazán, 2006); además, la fracción gaseosa producida por el PEAD puede ser utilizada para la generación de energía(guanajuato).</p>	<p>México</p>
<p>Diseño y Selección de equipos de ciclo Rankine en planta de pirólisis de plástico. (Garrido, 2020)</p>	<p>Se basa en el estudio de un diseño de una planta de pirólisis de plástico creada por Biogreen, la cual produce gas de síntesis</p>	<p>El gas de síntesis obtenido de plásticos como el propileno y el PET, pueden utilizarse como</p>	<p>Chile</p>

	haciendo uso de un CyclePad un Software para simular el diseño de una cámara de eficiencia térmica, con el fin de conocer el calor que será suministrado al ciclo Rankine.	fuente energética alternativa para generación de energía eléctrica.	

<p>Obtención de líquido combustible a partir de la pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno (Figuroa, 2020)</p>	<p>Este proceso se basó en la Disposición de desechos plásticos post-consumo, Requisitos., 2012 y NTE INEN 2634:2012 “Disposición de desechos plásticos post-consumo, realizando proceso de clasificación y trituración del material, determinando variables como temperatura y tiempo y posterior análisis de resultados de fracciones líquidas y gaseosas.</p>	<p>El análisis por el American Petroleum Institute, determinó que los PEAD y PS desprendían fracciones líquidas con olor irritante característico de petróleo, también por amarillo y color oscuro como coincidencias de gravedad; el líquido obtenido del PEAD presentaba gravedad API de 27.435, considerándose como crudo mediano; y el PS con una gravedad API de 19.160, se considera un crudo pesado.</p>	<p>Ecuador</p>
<p>Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la universidad autónoma</p>	<p>Este proceso se llevó a cabo con un método analítico se realizó con temperatura 25°C y un tiempo de 30 segundos para alcanzar una temperatura óptima de degradación.</p>	<p>El Analisis determino que a temperaturas entre 450° c y 470° se obtenida gran cantidad de aceite y a temperatura inferiores a 400° c</p>	<p>Colombia</p>

de occidente (Díaz, 2020)		cera viscosa de color marrón y a temperaturas mayores a 500° gases condensables y no condensables que pueden ser utilizados como fuentes de energía.	
Evaluación De La Obtención De Diésel a Nivel Laboratorio Mediante Pirólisis a Partir De Residuos Plásticos Provenientes Del Proceso De Empacado En La Empresa Atlantic Fs S.a.S (Torres & Castañeda, 2018)	La metodología utilizada se basó en la caracterización y clasificación de los materiales plásticos recolectados para conocer las diferentes variables del proceso como temperatura, tiempo y resultado, realizando ensayos de pirólisis térmica y catalítica, para el análisis de rendimiento del aceite pirolítico obtenido para su posterior destilación y determinación del combustible obtenido.	El análisis de las propiedades obtenidas de las fracciones líquidas y gaseosas corresponden a las de los hidrocarburos por su calidad, gravedad, color y olor, comprobando que el combustible obtenido del poliestireno con índice 97 – 98% propileno 49 a 82%, y polietileno 69 a 95%, a una temperatura mayor de 650°C, da como resultado diésel.	Colombia

<p>Aprovechamiento energético de residuos plásticos obteniendo combustibles líquidos, por medio de pirólisis (Mancheno 2015)</p>	<p>Se caracterizó que la temperatura adecuada para el proceso de pirólisis de residuos plásticos es 400 oC, ya a que a temperaturas menores a 300 oC el proceso de pirólisis no se desarrolla en su totalidad. Polietilen Tereftalato PET con un 33.72%, seguido por Poliestireno PS con un 19.82% y Polietileno de Alta Densidad PEAD con un 17.62%.</p>	<p>se obtuvo un resultado variable del poliestireno PS de 68.55% y porcentaje mayor del polietileno de alta densidad PEAD con 47.18% y por último el PET (Polietilen Tereftalato) con 2.13%.</p>	<p>Ecuador</p>
<p>Obtención de gas combustible a partir de la pirólisis catalítica de plásticos reciclados (Hernandez 2018)</p>	<p>Se logró obtener una reacción se llevó a cabo en un tiempo de 90 segundos. Se determinó el progreso de reacción mediante el método gasométrico</p>	<p>Se implementó una despolimerización de polipropileno con la ayuda de un catalizador de ácido crómico. Por otro lado, se determinó que el gas presenta características de combustible y la presencia de compuestos insaturados.</p>	<p>México</p>

Producción de hidrocarburos por pirólisis de plásticos (Raffino, 2020)	Esta metodología de pirólisis de polietileno de baja densidad condujo a la creación de hidrocarburos con características similares a la refinación de petróleo. variables adecuadas de temperatura y presión implementado un catalizador en base a una arcilla nacional fue posible obtener rendimientos de producto líquido superiores al 70 %.	Se aprecia un aumento de la producción de líquidos resultante de la pirólisis y posterior volatilización y condensación de la mezcla de productos. Luego de alcanzar un máximo de 0.184.	Uruguay
		Los resultados evidenciaron que la	

<p>Pirólisis del polietileno en presencia y ausencia De catalizadores arcillosos</p>	<p>En este método presentó una absorción de gas su capacidad de intercambio catiónico y se fueron preparadas en seco mezclando el polímero y el catalizador, con composición polímero/catalizador 93/7 y 80/20 en peso.</p>	<p>pruebas de los catalizadores tienen características catalíticas eficientes para generar disminuyendo la temperatura de degradación del PE logrando mejores resultados con la zeolita.</p>	<p>Estados unidos</p>
--	---	--	-----------------------

## 8.2 Cuadro comparativo artículos en inglés de la monografía

<b>Título</b>	<b>Metodología utilizada y pirólisis empleada</b>	<b>Residuos del plástico que obtuvieron</b>	<b>lugar de origen</b>
<p>Distribución de la temperatura del proceso de pirólisis plástica para producir combustible a 450°C (Hartulistiyoso ,2015)</p>	<p>El objetivo del artículo es estudiar la correcta distribución de temperatura en un reactor para la descomposición de botellas de plástico de todo tipo de bebidas, determinando la</p>	<p>El proceso de pirólisis determinó que 1.500 g de plásticos pueden producir 21 g de combustible a una temperatura de 450 °C y con un tiempo estimado de 110 minutos.</p>	<p>Bogor - Indonesia</p>

	<p>temperatura y la cantidad exacta de materia que se necesita para obtener combustible, estos experimentos se llevaron a cabo en un reactor cilíndrico con temperaturas que oscilan entre los 290°C y los 450°C medidos desde la parte superior e inferior del reactor.</p>		
<p>Pirólisis catalítica de residuos plásticos procedentes de sistemas eléctricos y aparatos electrónicos (T. Williams (2015))</p>	<p>El objetivo principal es obtener aceite aromático a partir del cual se pueda obtener gasolina a través de la pirólisis de residuos plásticos a partir de equipos electrónicos y equipos de refrigeración utilizando catalizadores de zeolita utilizados para la refinación de petróleo, el material determinado es poliestireno de alto impacto (y acrilonitrilo butadieno estireno.</p>	<p>La investigación muestra como resultados de la pirólisis catalítica de plásticos en equipos electrónicos, una mezcla de polietileno con poliestireno. Los plásticos procesados en reactores por lotes producen una amplia gama de hidrocarburos lineales no ramificados, compuestos aromáticos, incluido el etilbenceno, el estireno, tolueno y</p>	<p>West Yorkshire, Inglaterra</p>

		<p>benceno, a partir del cual se puede obtener gasolina con temperaturas superiores a 420 °C y en un tiempo de 20 minutos.</p>	
<p>Conversión de residuos plásticos en aceite: licuefacción directa frente a pirólisis e hidroprocesamiento</p> <p>(Jeff Rockwell y Gerald P. Huffman 1998)</p>	<p>El artículo determina el proceso para convertir los residuos plásticos post-consumo (PCP) en aceite de alta calidad: mediante licuefacción directa y pirólisis para obtener líquidos hidrocarbonados a una temperatura de 450 °C, este experimento se llevó a cabo con un reactor de pirólisis discontinuo con una capacidad de 500 gr de material particulado.</p>	<p>Se concluye que el proceso debe llevarse a cabo con temperaturas superiores a 430°C, para el hidroprocesamiento y temperaturas de 600 a 650°C para la pirólisis, siendo esta la clave del hecho de que ambos procesos tuvieron un efecto positivo en la distribución del punto de ebullición. de aceite, aumentando la fracción para la producción de gasolina en un rango de 30 a 50%, determinando también</p>	<p>Lexington - Estados Unidos</p>

		que el material plástico que contiene cenizas, papel, suciedad y cloro dio los mejores resultados	
<p>Termogravimetría masiva y simultánea de análisis espectrométrico de la pirólisis de residuos sólidos urbanos y tereftalato de polietileno.</p> <p>ME Sánchez, A. Morán, A. Escapa, LF Calvo y O. Martínez. (2007)</p>	<p>Los autores realizaron un estudio termogravimétrico del proceso de pirólisis de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y plásticos de tereftalato de polietileno (PET), determinando los rangos de temperatura para degradar los componentes. El estudio también abarcó la caracterización de la fracción de gas por</p>	<p>El proceso de desvolatilización se produce en un rango de temperatura que comprende los 200–500 ° C, esto se debe a la heterogeneidad de la materia orgánica con los residuos plásticos, sin embargo los resultados apuntan a que las emisiones de gases de energía producidas durante la pirólisis son menos contaminantes. y que las fracciones producidas tanto líquidas como sólidas y gaseosas pueden</p>	<p>León, España</p>

	espectrometría de masas.	de	utilizarse como hidrocarburos, hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.	
--	--------------------------	----	---	--

### **8.3 DESARROLLO DE LA REVISIÓN DE LOS ARTÍCULOS ANTERIORMENTE DESCRITOS**

A continuación, se realiza la revisión de los artículos mencionados anteriormente, la cual se hará mediante capítulos, para un mejor entendimiento.

#### **Capítulo I Historia del plástico**

El plástico se creó a finales del siglo XIX por el norteamericano John Weasley Hyatt, quien consiguió sintetizar un coloide para crear las bolas de billar, para el año 1907, Leo Hendrik Beakeland inventó la baquelita, un compuesto polimérico formado a partir de fenol y formaldehído, el primer plástico termoestable conocido. Este era aislante y resistente al calor y al agua. Así, se dio inicio a la llamada “era del plástico” que tuvo su esplendor en el siglo XX cuando se empezó la investigación de resinas plásticas y su consecuente aplicación a casi todos los campos de la industria. Diez años después, se hallaría la composición macromolecular del plástico, gracias al alemán Herman Staudinger, para el año 1930 los científicos inventaron los polímeros modernos que prevalecen hoy en la industria (Raffino, 2020). Los primeros plásticos en el mundo surgieron de la naturaleza, la madera, y de las pieles de animales, las primeras civilizaciones que usaron el plástico fue en Babilonia y Egipto.

La población mundial se ha incrementado notablemente y con ello el aumento de desechos plásticos, afectado significativamente el planeta, ya que las personas no son conscientes del gran daño que estos residuos ocasionan, La sociedad inconsciente tiene el pensamiento de comprar y desechar, esto se debe a la falta de información y compromiso con el entorno que nos rodea, a esto se suma un manejo inadecuado y poco controlado de los residuos por parte de los gobiernos ya que las leyes y normativas no vigilan debidamente la ejecución de este producto y su disposición final la cual tarda años para descomponerse totalmente, de acuerdo a la ONU en la publicación del 05 de junio de 2018 titulada “o nos divorciamos del plástico o nos olvidamos del planeta” afirman que de no tomarse medidas prontas para el año 2050 existirán cerca de 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos repartidas en vertederos y océanos. (Raffino, 2020)

Nuestra salud y la del planeta tierra en general está en riesgo, no solamente las fuentes hídricas, sino también de la tierra y los seres que la habitamos. Cuando se realiza quema de plásticos, se generan gases tóxicos que nos impactan a través de la contaminación atmosférica, también se filtran residuos líquidos que pueden llegar a cuerpos hídricos, siendo una causa de la alta mortalidad por este tipo de contaminación S. Heinrichs (2017)

Según estudios los microplásticos están presentes en todas partes llegando a ser detectados en productos alimenticios como la sal, y se ha evidenciado restos de plásticos en el agua de grifo y embotellada, siendo un tema preocupante ya que el impacto contaminante de este material afecta la salud humana.( Heinrichs, 2017).

El plástico se encuentra en los océanos desde hace mucho tiempo, pero hasta hace muy poco tiempo se ha tomado conciencia de que es un problema global que incluye a todos los sectores de la sociedad. Entre los años 1970 y 1980 , se creía que el plástico arrojado al mar se acumulaba solo en zonas costeras hasta que a finales de los 90, se encontraron concentraciones alarmantes de plástico en el pacífico norte, lo que expone un problema que necesitaba ser manejado y tratado en sus diferentes magnitudes. A principios del siglo XX, se dieron los primeros esfuerzos por encontrar

soluciones y apoyo para los problemas originados por las basuras encontradas en el medio ambiente. la principal preocupación en este era la cantidad de organismos marinos que terminan atrapados en las redes de pesca o en los residuos de plástico y también aquellos que los ingerían, contribuyendo a aumentar su mortalidad (Mendenhall, 2018)

En el año 2000 surgieron varias preocupaciones acerca del plástico en los ecosistemas debido a su abundancia en los ecosistemas marinos y el descubrimiento en los cuerpos de organismos marinos (Chae et al, 2018).

## **Capítulo II Fundamentos**

Se ha evidenciado que en cualquier parte del planeta se han encontrado objetos que pueden contener partes de plásticos, por ejemplo elementos de un solo uso; de acuerdo a esto la educación ambiental y la sensibilización a la sociedad es mínima, y esto se ve reflejado ya que se generan enormes multitudes de desechos vertidos frecuentemente y terminan siendo arrojados en el medio ambiente (Chae et al, 2018).

Como ya se sabe el plástico tarda mucho tiempo en descomponerse, a causa de esto el principal afectado son las fuentes hídricas y los peces, ya que cuando el plástico va perdiendo su composición y se va convirtiendo en microplásticos, lo cual los peces lo tragan y mueren por intoxicación. (Chae et al, 2018).

Cerca de 10 millones de toneladas de plásticos acaban cada año en el océano, siendo los países costeros orientales los que más aportan a ello. Estos desperdicios aparte de afligir el ambiente, afectan la economía desde sectores como el turismo, la pesca y navegación (Bbc Mundo, 2017).

Actualmente existen 5300 especies de plásticos en el mundo y por esta razón se dificulta explorar la composición de cada uno. El consumismo influye en la alta demanda y aumento de los modelos

de plásticos que se encuentran en los diferentes escenarios ambientales. Otro inconveniente que se añade es el tiempo de permanencia de las partículas de polímero en ríos y océanos, lo que hace que estas terminan concentrándose en un solo sitio. Según los estudios, se considera que en el océano se encuentran un alto porcentaje de partículas de plástico, con un peso de 268,940 toneladas (Toledo Martínez, 2019).

De acuerdo a la gran variedad de tipos de peces aptas para el consumo humano, la generación de plásticos y además residuos generados por las labores humanas que van hacia las fuentes hídricas donde se encuentran todo tipo de peces, son de gran preocupación, por el impacto que están causando tanto a la salud humana, como a la biodiversidad marítima. (Fotopoulou & Karapanagioti, 2012).

El plástico representa en el medio ambiente acuático alrededor de 82% de los residuos en el mar. Estos desechos se conforman de todo tipo de material de textura sólida y en estado de persistencia, que ha tenido un proceso y finalmente es depositado en el mar. Su desarrollo en todo el mundo se ha transformado en una amenaza para la biosfera por la conformación de polímeros tipo nano plásticos conocidos como contaminantes emergentes (Ferreira et al., 2019)

Sin embargo, es de gran preocupación la concurrencia de los nano plásticos en agua dulce y en alrededores del mar, debido a esto se han realizado estudios donde se evidencian todo tipo de plástico se acumulan en las fuentes hídricas y sus alrededores, según los resultados de los estudios este tipo de plástico puede llegar por medio del arrastre a las fuentes hídricas. (Ferreira et al., 2019).

### **Capítulo III Fuentes de contaminación y producción del plástico**

Los daños que está causando la contaminación por material plástico son irreparables y la problemática se agudiza cada día más, tan solo las fábricas de envases para bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico para un solo uso cada año. Se dice que Asia es el continente que produce la mayor parte de plástico a nivel mundial, con un 51%. China es el productor

del 30% del plástico existente en el mundo siendo el principal fabricante de este material, seguido de América con un 18%, Europa ocupa el tercer lugar en la escala de producción de plástico con un 17% (Greenpeace,2018).

Se estima que a través de acciones intencionales o aisladas antrópicas y factores meteorológicos, un 10% del total de plásticos ingresa al ambiente marino. Al ingresar a este medio, los desechos de plástico se dispersan por las fuentes hídricas como océanos y se distribuyen a través de la columna de agua y también en los lugares más lejanos y menos esperados del planeta, según numerosos estudios (Ideam,1998).

Estos numerosos residuos provienen de diferentes fuentes industriales como, por ejemplo:

1. Productos cosméticos y de limpieza como cremas de dientes, cremas y exfoliantes
2. Materias primas industriales que se utilizan en la fabricación de productos plásticos
3. Resinas plásticas utilizadas en las industrias
4. Fibras textiles que se liberan en los ciclos de lavado y secado
5. Impresiones tridimensionales

La producción de este tipo de partículas al medio ambiente se relaciona generalmente con la falta de infraestructuras en plantas de tratamiento de aguas residuales y con la eliminación de los plásticos por medio de plantas de tratamiento como la pirólisis. ( Andrady, 2011).

Teniendo en cuenta toda esta problemática, surge la necesidad de crear métodos y tratamientos para reutilizar, aprovechar y minimizar los residuos de plástico; es por esto que en el siguiente capítulo se plantean algunas de estas metodologías, para beneficiar a la sociedad y a quienes requieran de este tipo de combustible

## Capítulo IV Métodos de aprovechamiento de los plásticos

Actualmente estamos viviendo una problemática de contaminación ocasionada por la alta demanda de plástico, y dado a esto, el medio ambiente es la principal víctima; El plástico tiene una vida útil generalmente corta y además no es biodegradable o compostable con el medio ambiente, según estudios del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, en el año 2016 la producción de residuos sólidos fue de un total de 9.5 millones de toneladas donde el 14% corresponde a residuos de plásticos.

El tratamiento de los desechos plásticos requiere de unos procesos especiales para su transformación y aprovechamiento, dichos procesos son: El reciclaje primario, (re-extrusión), secundario (mecánico), terciario (químico), cuaternario (recuperación de energía) (Gil et al. 2019); El correcto manejo de los residuos plásticos cooperan con la mitigación de los impactos producidos en el medio ambiente, además la pirólisis perteneciente al proceso cuaternario permite la generación de combustibles importantes para el desarrollo de actividades del día a día; Los métodos primario y secundario para el reciclaje de plásticos se agrupan como convencionales y comprenden de procesos como clasificación y molienda, con estos dos primeros procesos se puede amortizar entre un 15 y 20 % del total de desechos de plásticos. (Gil et al. 2019), dando paso a los métodos terciario y cuaternario, los cuales se basan en procedimientos de transformación termoquímica como pirólisis o gasificación, por ende, permite el aprovechamiento energético de los desechos plásticos y puede reducir su volumen hasta en un 90 % (Gil et al. 2019).

Por lo tanto, se han planteado varias alternativas energéticas que logren suplir esta eventualidad. Dentro de este orden de ideas la pirólisis trata de un proceso termoquímico y ocurre en ausencia de oxígeno, este proceso consta de tres etapas

1. Dosificación
2. Alimentación
3. Transformación

Por esta razón es de suma importancia el análisis y el manejo y así mismo verificar las condiciones de este tipo de residuos por medio de un software.

A Continuación, se describe el proceso de dicho software.

#### ✓ **Software Aspen Plus.**

Este software se basa en simular procesos como el de la pirólisis en materiales procedentes de polímeros, para diseñar, optimizar la extracción de hidrocarburos como combustibles sintéticos. Luego de corroborar las muestras y a partir de estudios y experimentos, simulan la transformación de residuos del plástico y así mismo evaluar la calidad que favorezcan en la generación de hidrocarburos como; gas, diesel, gasolina, entre otros; Como resultado se estima el rendimiento y calidad de la descomposición del plástico que se obtuvo en el reactor (Gil et al. 2019).

En la siguiente Figura 4 se muestra el proceso de pirolisis por medio del software Aspen Plus

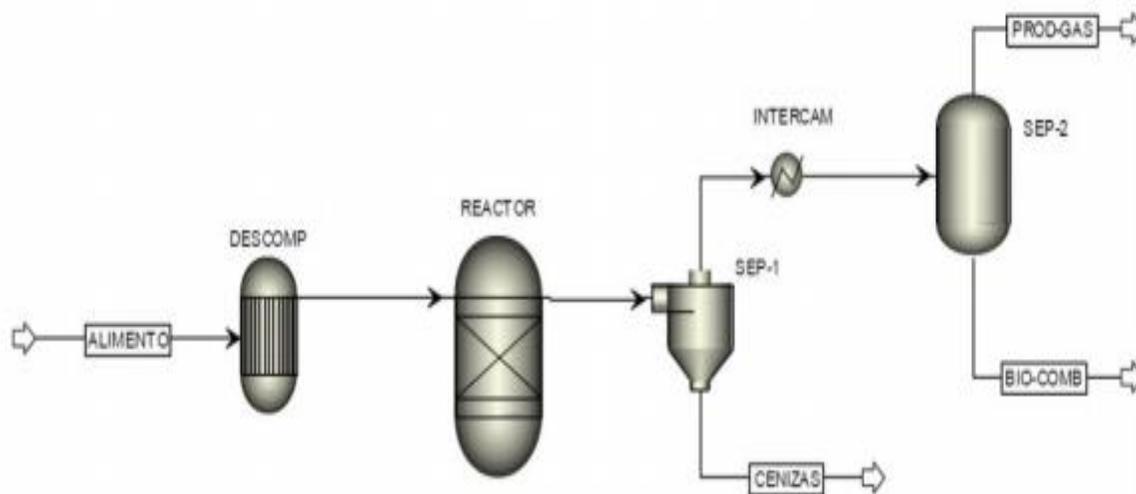


figura 4 Esquema proceso de pirólisis por medio del software Aspen Plus

Fuente: (Gil et al. 2019).

Este proceso consta de un reactor de rendimiento para la descomposición de plástico y reactor de pirólisis, SEP 1 donde el divisor de corriente donde se filtra la recuperación de los residuos sólidos, INTERCAM donde se condensador de frío y SEP 2 donde se separa los combustibles en líquidos de los gases.(Gil et al. 2019).

### ✓ Pirólisis Térmica

La pirólisis térmica se basa en la transformación de residuos de plástico a combustible sintético con temperaturas alrededor de 350 y 900°C .Cabe resaltar que en este proceso no se utiliza el oxígeno (Díaz,2020)

### ✓ **Pirólisis catalítica**

Este tipo de pirólisis consta de reacciones de transformación, a bajas temperaturas y menos tiempo, este proceso se caracteriza por la presencia de catalizadores que aceleran la generación de combustible. La pirólisis catalítica tiene una serie de ventajas con relación a la térmica, como un bajo consumo de energía y la conformación de productos con una distribución más estrecha. (Díaz,2020)

### ✓ **Fast Pirólisis**

Este proceso consiste en la transformación y conversión térmica por medio de calor de forma instantánea de la biomasa. Esta metodología de transformar los lípidos de las algas en biocombustible y reemplazar el combustible tradicional debido al contenido de nitrógeno que contiene las algas no es de gran ayuda para este proceso, ya que el nitrógeno que proviene inicialmente de las proteínas y aminoácidos se transforman en un compuesto nitrogenados. pues esta última parte no es deseable ya que la combustión produce óxidos de nitrógeno, y combinados con hidrocarburos esto aumentaría la contaminación atmosférica ya que se convertiría en smog. (Muñoz .2014)

### ✓ **Desafíos al momento de reciclar plástico.**

Como ya se sabe el plástico se caracteriza por tener alto peso molecular y poseer largas cadenas de polímeros. Por lo tanto, al momento de hacer el proceso de pirólisis no es recomendable mezclar todos los tipos de plástico. Ya que no genera el mismo rendimiento de combustible, por que al momento de mezclar todos los tipos de plástico ellos se separan y conforman fases diferentes, como por ejemplo el agua con el aceite. algo similar pasa en este proceso. De tal modo para realizar este

proceso de mezcla el tipo de plástico debe ser idéntico y así mismo será eficiente al momento de generar combustible (Mendenhall, 2018)

La caracterización del material plástico como materia prima para la obtención de combustibles es importante en un proceso de reciclaje para pirólisis, de acuerdo a los diferentes autores referentes en este trabajo monográfico, recomiendan realizar análisis de calorimetría y espectroscopia de infrarrojos, con el fin de conocer el potencial calorífico de cada tipo de plástico para obtener un producto que cumpla con las características propias del combustible, ya sea gasolina, diesel o aceite; por ejemplo el análisis de espectroscopia de infrarrojos por transformadas de Fourier, es el método más recomendado por los autores, el cual consiste en descargar un rayo monocromático al material plástico y por medio de una luz infrarroja conocer la cantidad de energía absorbida y su potencial para producir combustibles (Proaño & Crespo 2009).

## **Capítulo V Pirólisis**

Esta monografía tiene como propósito estudiar un proceso adecuado con el fin de mitigar el impacto que producen los plásticos y así mismo darle un buen manejo a este tipo de residuos, por lo anterior se investigó mediante experimentos la capacidad de generar combustibles para cada uno de los tipos de plástico, determinando que la pirólisis térmica es una de las técnicas más provechosas y que el polietileno es el material plástico más eficiente para producir combustibles.

La pirólisis requiere un reactor con capacidad para soportar temperaturas de 300 - 400°C por tiempos de 1 a 2 horas, los productos líquidos se obtienen con temperaturas iguales 400°C por 2 horas, a continuación se presentan datos experimentales por medio de gráficas de los diferentes tipos de plásticos para identificar la viabilidad y la capacidad para obtener combustible por medio de la pirólisis. En cada experimento se toma como referencia un tiempo determinado, temperatura, tipo

de plástico y cantidad de plástico. También se hará una breve descripción de lo que sucede en cada proceso.

En el gráfico 1 se observa el comportamiento que tuvo el tipo de plástico PET a temperaturas que van desde 18 °C hasta 230 °C con un tiempo inicial de 35 minutos y finalizando en 280 minutos. Inicialmente se trabajó con una cantidad de 37g de PET, el rendimiento que se determinó fue de 14.8%.

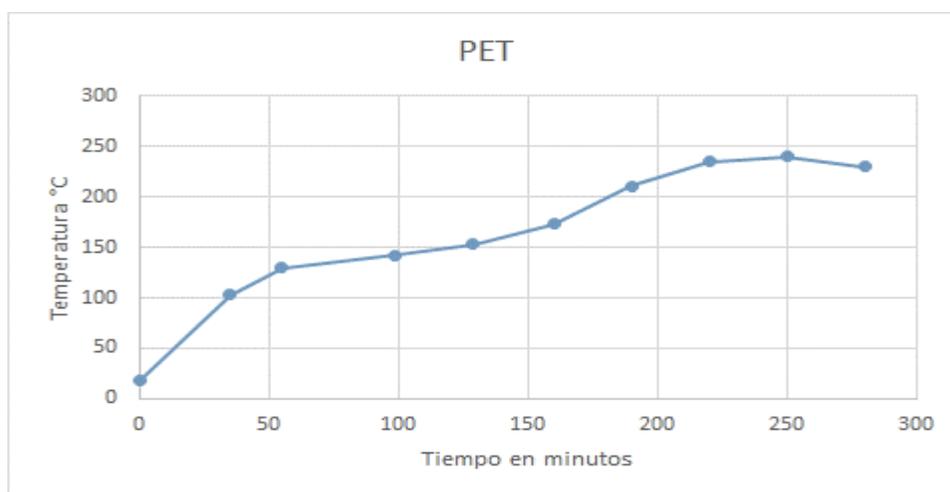


Gráfico 1 variaciones tipo de plástico PET

Fuente: (Carreón et al. 2015)

De acuerdo a lo anterior se interpretó que en los primeros 55 minutos y con temperaturas cercanas a los 100 °C no se obtuvo ningún tipo de líquido. En el minuto 99 y con una temperatura de 142 °C se comienza a visualizar un producto con consistencia grasosa. En el minuto 190 y con una temperatura de 213°C en el reactor queda evidencia de un residuo similar al carbón, y finalmente para el minuto 280 y con una temperatura de 240 se identifica presencia de gases, y fue el punto donde más hubo presencia de los mismos (Carreón et al. 2015).

En el gráfico 2 se observa el comportamiento que tuvo el tipo de plástico PEAD a temperaturas entre 23 °C y 219°C con un tiempo inicial de 10 minutos y finalizando en 155 minutos. Inicialmente se trabajó con una cantidad de 57g de PEAD, el rendimiento que se determinó fue de 20.8%. (Carreón et al. 2015)

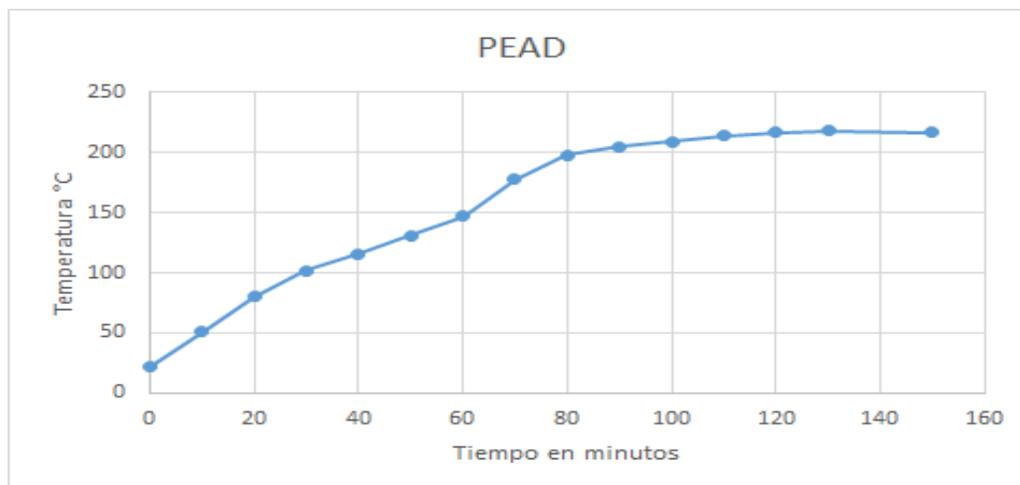


Gráfico 2 variaciones tipo de plástico PEAD

Fuente: (Carreón et al. 2015)

De acuerdo a lo anterior se identificó que en los primeros 80 minutos y con temperaturas cercanas a los 60 °C, se obtuvo una concentración de volumen de 57ml de un líquido que se quema en presencia de oxígeno y de fuego con un color amarillo. En el minuto 178 y con una temperatura de 90 °C los residuos en el reactor tienen consistencia grasosa y de color amarillo y se funden rápidamente. En el minuto 210 y con una temperatura de 150°C se identificó que los residuos son hidrocarburos gaseosos y el color de la llama que generan es naranja (Carreón et al. 2015)

En el gráfico 3 se observa el comportamiento que tuvo el tipo de plástico PEBD a temperaturas entre 18 °C y 210 °C con un tiempo inicial de 0 minutos y finalizando en 175 minutos. Se trabajó con una cantidad de 61g de PET. El rendimiento que se determinó fue de 19.9% (Carreón et al. 2015).

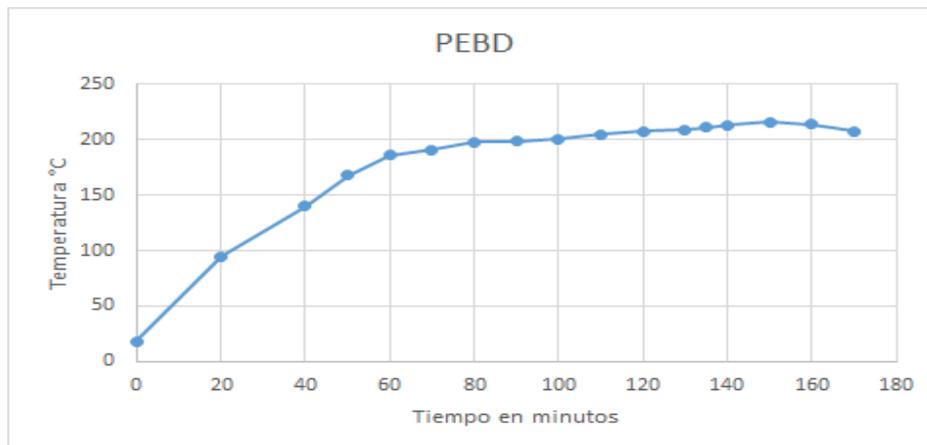


Gráfico 3 Datos variaciones para el tipo de plástico PEBD

Fuente: (Carreón et al. 2015)

De acuerdo a lo anterior, en los primeros 20 minutos y con temperaturas cercanas a los 130 °C, se identificó un volumen de 61 ml de un líquido que se quema rápidamente y completamente dejando hollín en el reactor de color café. En el minuto 80 y con una temperatura de 208 °C se visualizan 153g de residuos depositados en el reactor. Además, con un olor a ceniza y con consistencia muy parecida a la plastilina. En el minuto 213 y con una temperatura de 140°C finalmente se encuentran hidrocarburos gaseosos generando una llama de color rojo (Carreón et al. 2015).

En el gráfico 4 se observa el comportamiento que tuvo el tipo de plástico PS a temperaturas entre 18 °C y 155 °C con un tiempo inicial de 0 minutos y finalizando en 100 minutos. Se trabajó con una cantidad de 185 g de PS. El rendimiento que se determinó fue de 70.3% (Carreón et al. 2015).

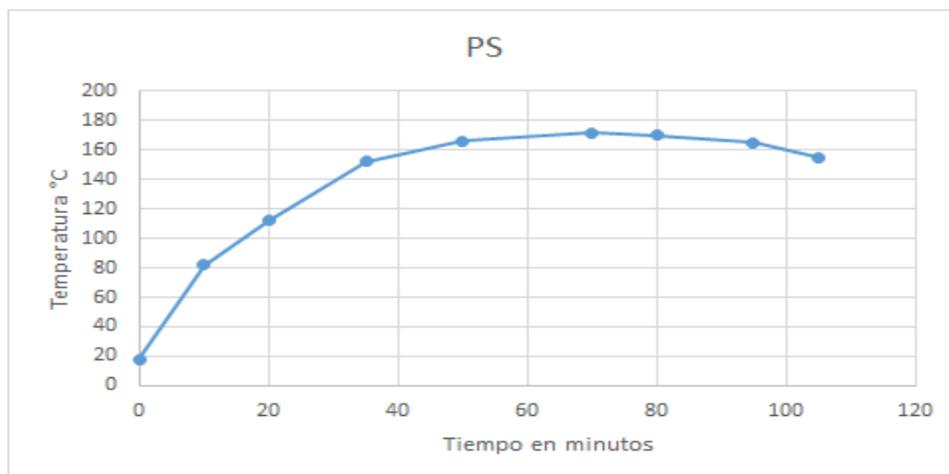


Gráfico 4 Datos variaciones para el tipo de plástico PS

Fuente: (Carreón et al. 2015)

Según los datos recopilados se interpretó que en los primeros 10 minutos y con temperaturas cercanas a los 82°C, se logró obtener un buen rendimiento de un líquido de color amarillo claro y la llama que genera es constante. En el minuto 70 y con una temperatura de 170 °C se visualiza un color de la llama es amarillo no quedaron residuos en el reactor. (Carreón et al. 2015).

En el gráfico 5 se observa el comportamiento que tuvo el tipo de plástico PP a temperaturas entre 20 °C y 213°C iniciando con un tiempo de 10 minutos y finalizando en 160 minutos. Inicialmente se trabajó con una cantidad de 260g de PP, el rendimiento que se determinó fue de 70.7% (Carreón et al. 2015).

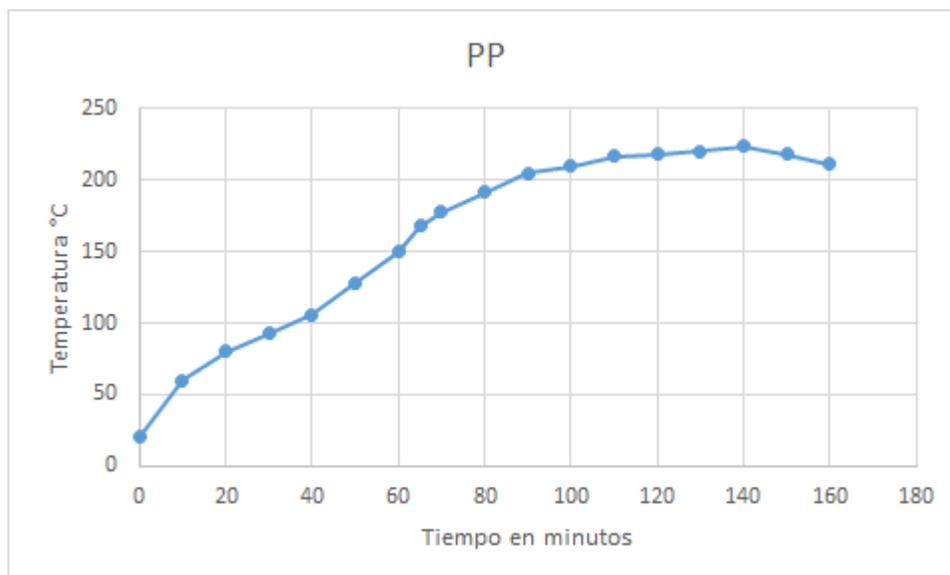


Gráfico 5 Datos variaciones para el tipo de plástico PP

Fuente: (Carreón et al. 2015)

De acuerdo a lo anterior, se observó que en los primeros 50 minutos y con temperaturas cercanas a los 126 °C se obtuvo el más alto rendimiento, el color del combustible es mostaza y genera una llama constante sin generar hollín. En el minuto 80 y con una temperatura de 190 °C se produjo gas el cual fue quemado para calentar el sistema, además el color de la llama es amarillo y no quedaron residuos en el reactor (Carreón et al. 2015).

## **CAPÍTULO VI. GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE PLÁSTICOS POR MEDIO DE LA PIRÓLISIS TÉRMICA**

La pirólisis trae beneficios económicos que representan ahorro, avances tecnológicos y transformación para la recuperación de los daños ambientales, es decir, la generación de combustibles por medio de pirólisis de residuos plásticos, representa innovación, puesto que se toma una problemática ambiental para transformarla en un bien común.

Además de ofrecer una alternativa limpia y eficiente para el correcto tratamiento de los desechos plásticos y minimizar la contaminación producida, la pirólisis trae consigo beneficios económicos que representan ahorro, avances tecnológicos y transformación para la recuperación de los daños ambientales, es decir, la generación de combustibles por medio de pirólisis de desechos plásticos. También representa innovación, puesto que se toma una problemática ambiental para transformarla en un bien común.

Como ejemplo de antecedentes se referencia al empresario japonés Akinori Ito, quien diseñó y creó un aparato denominado Blest Machine para producir diesel a partir de residuos plásticos como polietileno, poliestireno y polipropileno, transformando un kilogramo de plástico en un cuarto de litro de petróleo crudo con solo un kilovatio / hora de energía (Romina 2015).

La Generación de hidrocarburos consiste en fundir herméticamente los residuos plásticos recolectados en temperaturas que oscilan entre los 370° C y los 1000°C según (Aracil, julio de 2008), obteniendo fracciones gaseosas y líquidas que pueden ser utilizadas como energía. Las fracciones obtenidas se refinan mediante destilación fraccionada para obtener diésel y gasolina (Proaño & Crespo 2009).

Este proceso requiere de un recipiente herméticamente cerrado utilizado como reactor con el fin de soportar altas temperaturas como las mencionadas en líneas anteriores propuestas por (Aracil, julio

de 2008) bajo la ausencia total de oxígeno, para una correcta combustión. A continuación, se relaciona el esquema de un reactor de pirólisis.

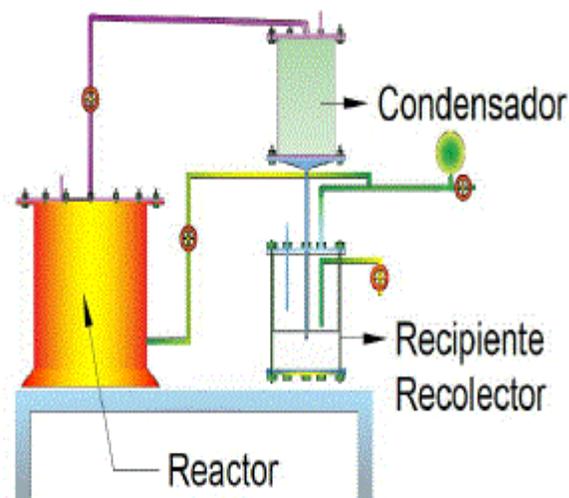


figura 5 Esquema Reactor de pirólisis para obtención de combustibles

Fuente: (Proaño & Crespo 2009).

Seguidamente se procede a recolectar y acopiar los plásticos seleccionados como potenciales para la generación de combustibles (PET, PEAD, PP, PS). Este material es triturado y fundido por cargas iguales a 300 g de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por los distintos autores referenciados en este estudio monográfico ya que manifiestan que esa proporción a una temperatura superior a los 300°C produce una mezcla de hidrocarburos líquidos y gaseosos de grandes resultados.

## 10. EPÍLOGO

Esta monografía se justifica inicialmente de la problemática ambiental que estamos viviendo a raíz de la gran generación de residuos de plástico igualmente también se estudia la parte económica, pues

como bien lo mencionamos anteriormente la pirólisis es una técnica eficiente y ofrece un tipo de combustible limpio, además se están utilizando residuos, por lo que representa un ahorro.

Esta metodología busca reducir el impacto causado por la contaminación de residuos plásticos, generando conciencia ambiental y desarrollo sostenible, dando como resultado combustible con base al material desechado de plástico, producto de las diferentes actividades de consumo diario.

Este proceso es útil con fines educativos, para beneficio de la mayoría de las diversas actividades desarrolladas por estudiantes, recordando que este planeta pertenece a todos y que cualquier idea de desarrollo sostenible contribuye notablemente con la lucha para disminuir la tasa de contaminación, es una alternativa favorable, dando un buen manejo a los residuos plásticos.

De igual manera se tomó en cuenta la parte social, ya que hay comunidades de bajos ingresos que no pueden obtener este tipo de recursos. En este orden de ideas se estaría mejorando tanto la parte ambiental como lo social, generando una fuente de empleo y así mismo contribuyendo con el desarrollo de la población y del país.

La transformación de residuos de plástico para generar combustible es una técnica de remediar el medio ambiente, luego de ser desechos pasan a ser materia prima mediante procesos limpios.

La pirólisis, pretende mitigar el impacto causado por la contaminación de residuos plásticos, generando conciencia ambiental y de desarrollo sostenible dando como resultado combustible, con base al material desechado de plástico de todo tipo producto de las diferentes actividades de consumo diario. Este proceso es útil con fines educativos para beneficio de la comunidad, que pueda ser un referente para la implementación en otras áreas de las diversas actividades económicas desarrolladas por estudiantes o de la comunidad en general, recordando que este planeta pertenece a todos y que cualquier idea de desarrollo sostenible contribuye notablemente con la lucha para disminuir la tasa de contaminación.

La pirólisis es adecuada y apropiada como alternativa útil, dando un buen manejo a los residuos plásticos, aunque el valor de este proceso puede ser costoso, es primordial proteger la biodiversidad nuestros ecosistemas acuáticos y terrestres, siendo estos los más afectados, por las malas prácticas que como sociedad hemos hecho durante mucho tiempo.

## 11. DISCUSIÓN Y PROPUESTA

De acuerdo a los objetivos de este trabajo monográfico se determinaron los costos de los materiales necesarios para llevar a cabo el proceso pirolítico para obtención de combustible mostrando que es una baja inversión para proyecto que busca transformar una problemática ambiental provocada por los residuos plásticos como fuente alternativa de energía que permita el desarrollo de actividades diarias como por ejemplo: el combustible para la máquina de limpieza de un ceped, la contaminación de los suelos y de cuerpos hídricos que rodea nuestro entorno genera un alto costo económico como consecuencia de la limpieza y reparación, igualmente pérdida de ingresos del turismo comparado con la baja inversión que representa reutilizar o transformar un residuo .(Galloway et al., 2020).

El análisis termogravimétrico de descomposición térmica realizado en los diferentes referentes bibliográficos de pirólisis en residuos plásticos, muestra que es una técnica efectiva para estudiar la descomposición de materiales poliméricos, que facilita la proporción de información, fundamental del material para la obtención del producto final como lo es la temperatura y el peso en gramos, requeridos para el proceso de transformación.

La descomposición térmica de los polímeros se establece en temperaturas entre 300° y 500° C con una etapa inicial de calentamiento de 10 min bajo ausencia de oxígeno. El sellado hermético del recipiente para garantizar la calidad del producto (Proaño y Crespo 2009).

Las temperaturas por debajo de los 300°C producen material sólido resinoso, que representa la prueba de que el plástico no ha sido pirolizado totalmente y produce bajos rendimientos para la obtención de hidrocarburos, mientras que a temperaturas superiores a los 320°, se pueden obtener altos rendimientos para combustibles líquidos que pueden ser catalogados como crudo base para la obtención de aceites que pueden ser convertidos en gasolina o diesel.

Los autores recomiendan tiempos entre 60 y 120 minutos para la producción de fracciones líquidas que sirvan para la producción de combustibles, ahorrando tiempo y energía, (Proaño y Crespo 2009).

El rendimiento de cada material, con base en los análisis de temperatura y tiempo de los diferentes artículos analizados, establecen que el poliestireno PS es el material con mayores características para la producción de combustibles, con un 60 % de potencial el polietileno de alta densidad PEAD posee también condiciones para la producción de hidrocarburos o fuentes de energía con 38% y por último el polietileno tereftalato conocido como PET con 2.1% de potencial según los resultados arrojan fracciones sólidas (PT. Williams y EA. Williams, 1998).

El proceso de pirólisis con información puntual es una técnica que puede ser utilizada o aplicada por cualquier persona con materiales de fácil obtención para su desarrollo, siendo una forma eficiente de contribuir con la reducción de la contaminación que producen los desechos plásticos y que a la vez pueden representar ingresos económicos.

El manual de pirólisis se encuentra dirigido a toda la población que quiera contribuir con un cambio ambiental desde su lugar de residencia o trabajo, sin importar religión, raza, cultura o cualquier otro esquema que en algunos casos es motivo de exclusión por los demás, con el fin de generar ideas que

puedan dar solución a los problemas de contaminación que producen los residuos plásticos, que a la vez representen generación de ingresos y empleos; la dinámica que emplea el manual es la presentación clara y organizada de la información, es decir, el paso a paso detallado, desde el inicio del manual hasta la creación casera del reactor con recomendaciones de cuidado para la realización de las prácticas, se espera que este manual tenga réplicas en colegios e instituciones que puedan dar mejoras a las técnicas acá propuestas, teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

**Economía Circular.** Promover un modelo de recolección de plástico en lugares donde hay más impacto como por ejemplo océanos, islas, rellenos o botaderos para así utilizarlo y generar un sistema de aprovechamiento donde la materia prima se transforma en hidrocarburo, de una manera segura, y así procurar que este material no vuelva a parar a los cuerpos de agua, implicando el concepto de economía circular, donde se generen productos y estos a su vez permitan reducir los materiales provenientes de insumos .

Este método puede llevarse a cabo generando planteamientos tanto gubernamentales como culturales en los que prevalezca el compromiso por mantener el medio ambiente y la salud pública. y reconocer que de alguna forma hay que mitigar el impacto del plástico (sostenibilidad para todos 2017).

Por lo tanto, la norma de residuos plásticos CONPES 3874 de 2016 busca por medio de la administración de residuos de plástico aportar un lineamiento hacia la economía circular para que sea de gran aprovechamiento de la materia prima y potencial energético. (Andi.2018)

**Responsabilidad global:** Si bien se sabe las ciudades con alta demanda turística y con sobre población muestran una preocupación respecto con el exceso de residuos de plástico, son los mayores generadores de estos residuos y donde los más perjudicados son: el medio ambiente y la sociedad pues la acumulación de estos residuos depende en gran medida de los factores ambientales,

por lo que la responsabilidad ante esta problemática debe ser a nivel mundial con exigencias más tangentes para los países productores y generadores (Zacarías.2018).

**Normatividad.** La legislación actual a nivel mundial es insuficiente, pues, aunque en varios países se está prohibiendo el uso de bolsas plásticas y de productos de un solo uso, no existen normas que regulen la fabricación de materiales sintéticos que se usan en la industria textil para la elaboración de ropa por ejemplo o en la industria de alimentos, y menos aún que regulen el uso indiscriminado de envases desechables. Aunque existen algunos tratados, en general no hay una cooperación entre las naciones para abarcar esta problemática de manera efectiva; los países deberían integrar normas para la limpieza, la reutilización y la disposición del plástico que permitan salvaguardar los océanos y los seres vivos que allí habitan (Sostenibilidad, 2017).

De acuerdo a lo anterior se identifica que la normatividad que acoge a la acumulación de residuos en la Resolución 1407 del 26 de junio de 2018, por la cual reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de plástico y se toman determinaciones (Andi,2018).

**Gestión.** Los parámetros que se podrían aplicar incluyen las 3 R las cuales son reciclaje, reutilización y reducción de las fuentes como estrategias de prevención. La limpieza y la eliminación de las basuras deberían ser obligatorios y constantes para reducir la abundancia de estos plásticos en el ambiente y como parte de las medidas de remoción y mitigación; por otra parte las campañas de sensibilización y educación ambiental, son estrategias educativas que favorecen estas iniciativas especialmente si se realizan con incentivos de tipo económico y social.

. Existen varios desafíos frente a este tipo de contaminación emergente, no es solo cuantificar o reducir la cantidad de acumulación alrededor del mundo, sino también invertir un presupuesto en mejorar la interpretación de los riesgos para la salud y el medio ambiente (Klingelhöfer et al., 2020).

Se propone realizar convenios con entidades como universidades, colegios, restaurantes, y empresas que se dediquen a la fabricación de plástico. Además, realizar gestiones con personal encargado de la valorización del reciclaje. Con el fin de hacer un buen aprovechamiento de los residuos.

### Presupuesto

Material	Costo
Estufa eléctrica	50.000
Olla exprés	70.000
Mangueras de nivel	5.000
Abrazadera	3.000
Filtro plástico	50.000
Neumático	11.900
Generador de energía	20.000
TOTAL	\$ 209.000

Tabla 4. presupuesto de materiales para construcción de reactor casero.

Fuente (Espinosa, 2009)

## 12. CONCLUSIONES

- Los referentes bibliográficos obtenidos de fuentes como: “biblioteca virtual, Scopus, Sciencedirect, Redalyc, Scielo y google académico, permitieron determinar que la pirólisis térmica es la técnica más eficiente, de fácil desarrollo para la obtención de combustibles.
- Se determinó que el poliestileno es el tipo de plástico con mayor potencial calorífico, seguido del polietileno de alta densidad, de acuerdo a la clasificación de información recopilada.
- La obtención de fracciones líquidas y gaseosas para la producción de combustibles no solo depende de la temperatura en la que se realiza el proceso de pirólisis, sino también del tiempo que se asigne dentro del reactor para su reacción.
- Se consolida un manual para la conversión de plástico a combustible por medio de un proceso de pirólisis térmica, basados en importantes aportes realizados por los diferentes autores ya que de esta manera se facilita el proceso para todas aquellas personas que quieran poner en práctica la técnica mencionada, preservando el conocimiento adquirido en este trabajo monográfico.
- Se hizo énfasis en los resultados experimentales de (Carreón et al. 2015) ya que los resultados que generan son importantes para la monografías, porque nos indica el porcentaje calorífico y el rendimiento de cada tipo de plástico.

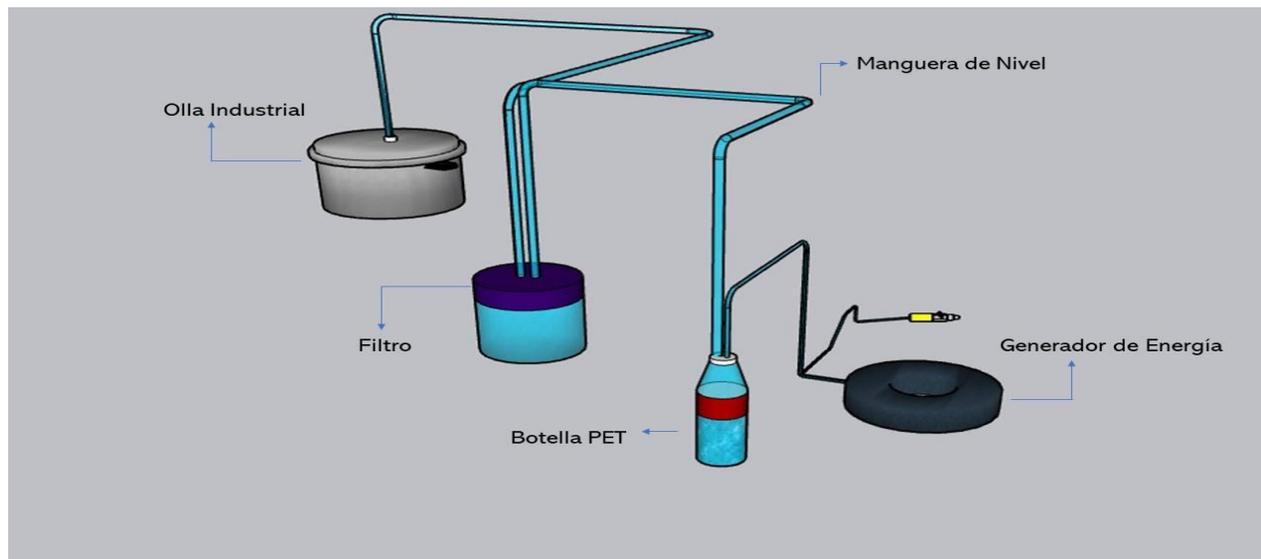
### 13. RECOMENDACIONES

1. Se aconseja el uso del manual presente en esta monografía para la generación de combustible sintético, lo cual brinda un buen entendimiento para realizar dicho proceso. ver en el anexo 5
2. Se recomienda continuar con la revisión de este tipo de tecnologías y posiblemente realizar algún proyecto de investigación que abarque el diseño e implementación en poblaciones vulnerables.
3. Se sugiere caracterizar los tipos de plásticos para una mejor obtención de óptimo combustible.
4. Promover en Colombia y Latinoamérica la indagación de estos materiales y contaminantes no sólo para conocer los potenciales impactos que podrían tener en sus ecosistemas sino también para poder tomar medidas efectivas frente a la problemática.
5. Se recomienda no utilizar para el proceso de pirólisis el tipo de plástico PVC, ya que este contiene sustancias tóxicas y es perjudicial tanto para la salud humana y para el medio ambiente
5. Se sugiere contemplar otras metodologías de generación de combustibles a partir de plástico diferentes a la pirólisis, teniendo en cuenta que existen muchas más.

## Anexo 1

Diseño de proceso de pirólisis, para la generación de combustible por medio del plástico

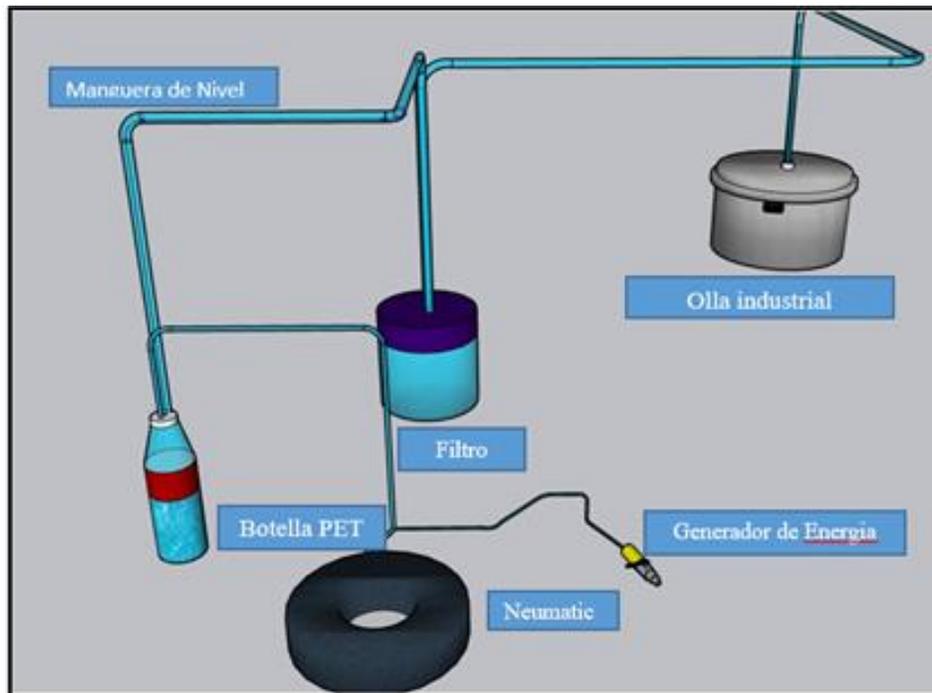
figura 9 diseño de proceso de pirolisis



Vista panorámica del diseño Fuente: Propia

**Anexo 2**

figura 10 vista superficial del proceso

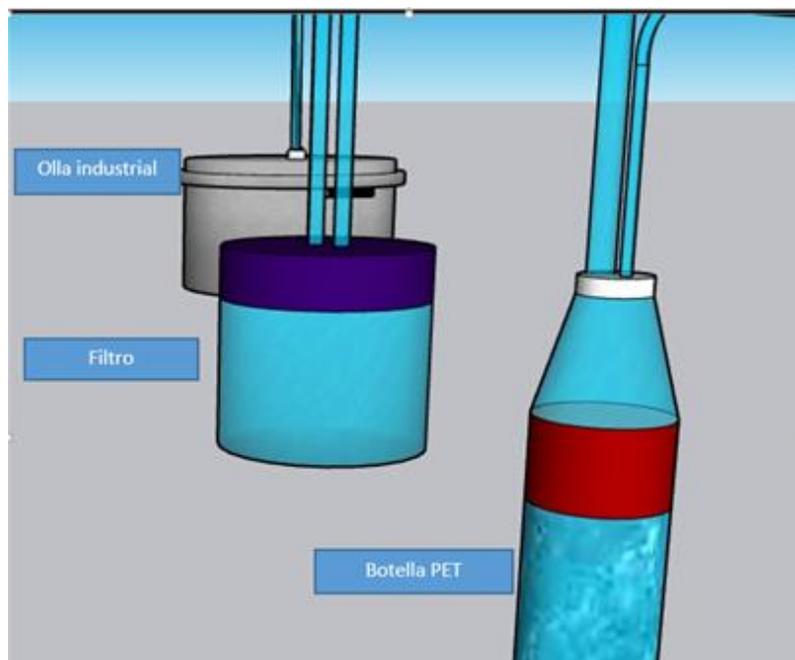


Vista superficial del diseño

Fuente: propia

**Anexo 3**

figura 11 vista lado lateral del proceso de transformación a combustible

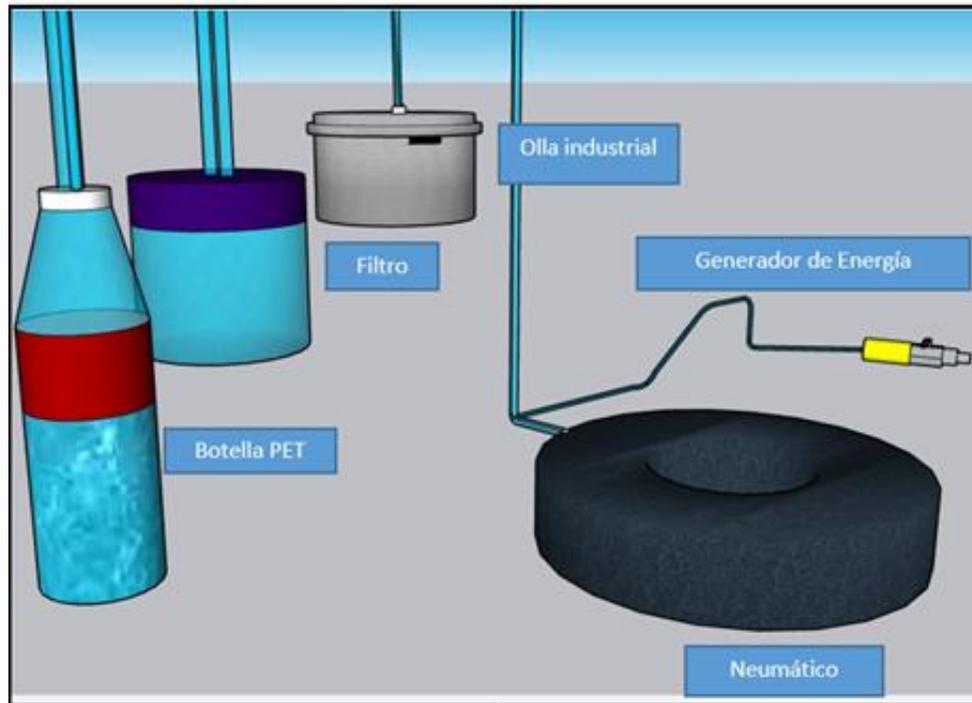


Vista lado lateral del proceso de transformación a combustible

Fuente: propia

**Anexo 4**

Figura 12 Vista panorámica del proceso



Vista panorámica del proceso

Fuente: Propia

### Anexo 5

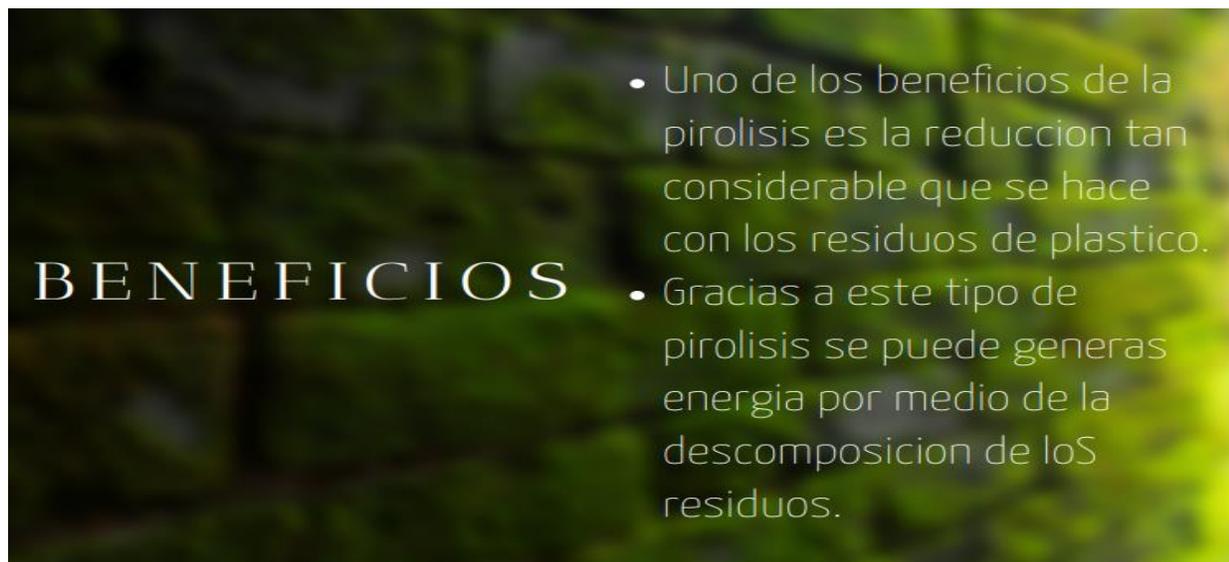
Manual del procedimiento para generar combustible por medio de la pirólisis



Fuente: tomado de (plastic, 2020)

### Anexo 6

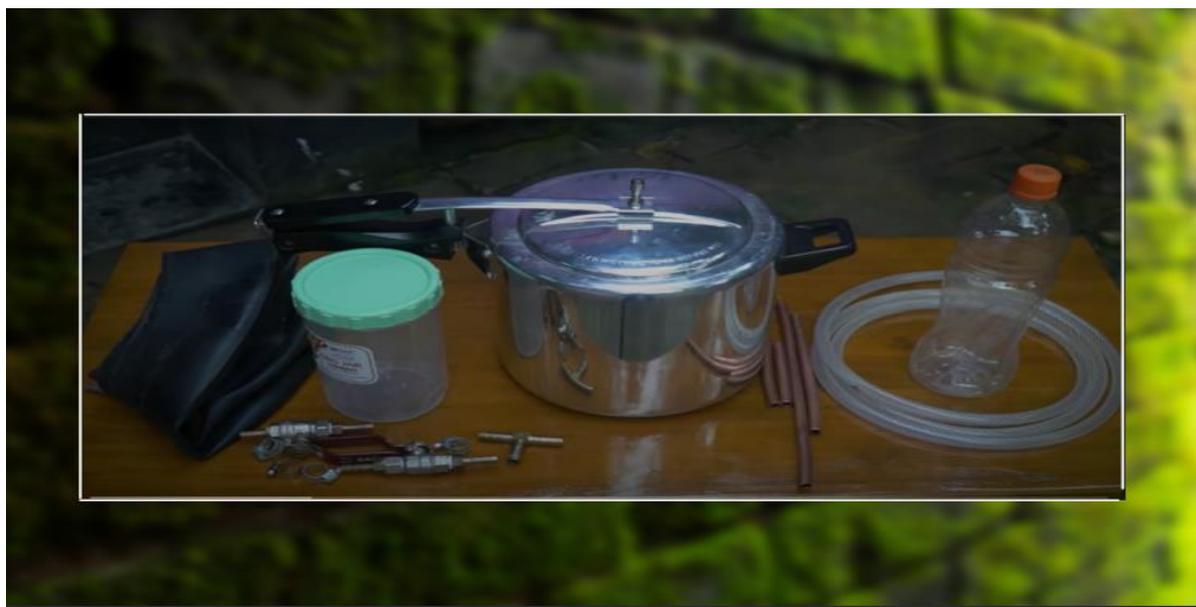
Beneficios de la pirólisis



Fuente: tomado de (plastic,2020)

### **Anexo 7**

Materiales que se requieren para realizar el proceso de pirólisis



Fuente: tomado de (plastic,2020)

## **14. REFERENCIAS**

Aguilar, c. (2019). produccion de hidrocarburos a partir de la pirolisis de nuez de mango con catalizadores y mezcla con plastico. *universidad de los andes*, 11(1), 1–14. [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/red2017-eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=y%0ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_sistem\\_pembetulan\\_terpusat\\_strategi\\_mel\\_estari](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/red2017-eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=y%0ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_sistem_pembetulan_terpusat_strategi_mel_estari).

Ambiental. (2019). Retrieved 5 February 2020, from <https://higieneambiental.com/higiene->

alimentaria/el-plastico-que-comemos

Andrés y Gallo, Jose Antoni. (Agosto de 2016,). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos (R. A. Sarria-Villa., Ed.; Vol. 8).

<https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Antonio Arce-Plazaa, Jacob A. Andrade-Arvizub, Maykel Courel, José Alberto Alvaradoc, Mauricio Ortega-Lópezd, Study and application of colloidal systems for obtaining CdTe+Te thin films by spray pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 124, (2017), Pages 285-289, ISSN 0165-2370, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.01.022>.

Andi. “por la cual reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de plástico y se toman determinaciones.” *por la cual reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de plástico y se toman determinaciones*, Andi, <http://www.andi.com.co/Uploads/RES%201407%20DE%202018.pdf>.

Andrea María Rodríguez BertheauI; Miriam Martínez VaronaII; Ileana Martínez RodríguezIII; Hermes Fundora HernándezIV; Tania Guzmán ArmenterosV. (2011). Desarrollo tecnológico, impacto sobre el medio ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 8.

Atlantic Fs S.a.S. Fundación Universidad de América,  
1–152.

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6951/1/6131986-2018-2-IQ.pdf>

Braulio, I. J., & Pinos, A. (2020). *Obtención de combustibles a partir de Tereftalato de Polietileno (PET) a escala de laboratorio mediante procesos de pirólisis y gasificación*.

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18901>

Bevilacqua Romina.(2015). El revolucionario invento que convierte el plástico en petróleo. UPSOCL.verde [www.UPSOCL.com/verde/el-revolucionario-invento-que-comierte-el-plastico-en-](http://www.UPSOCL.com/verde/el-revolucionario-invento-que-comierte-el-plastico-en-)

[petroleo/](#)

Campos, c., & armas, f. (2018). combustibles fuel-oil obtenidos de residuos plásticos mediante pirólisis.

Cabello Quiñones Ana maría, (2006). solución para el desarrollo sustentable energías alternativas [http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/3467/2/cabello\\_quinones\\_am.pdf](http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/3467/2/cabello_quinones_am.pdf)

Carreon, Luis, et al. “Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos.” *Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos*, 2015, [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-87872015000100005&lang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872015000100005&lang=es).

Chen, Jianbiao, et al. (2015). Pyrolysis of oil-plant wastes in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and products characterization. *Bioresource Technology*, 592-602.

Chae, Y., Kim, D., Kim, S. W., & An, Y. J. (2018). Trophic transfer and individual impact of nano-sized polystyrene in a four-species freshwater food chain. *Scientific Reports*, 8(1), 1– 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18849-y>

Díaz, f. (2020). Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la universidad autónoma de occidente. *universidad autonoma de occidente*, 21(1), 1–9. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry>

Díaz, M. (2016). Obtención de combustibles a través de la pirólisis de plásticos de desecho. *Zaguan.Unizar.Es*, 77. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>

Díaz, fardy. *Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la universidad autónoma de occidente*. 2020, [https://drive.google.com/drive/folders/1zykxeer-aflggohqldn5ah3m20d\\_t-9u](https://drive.google.com/drive/folders/1zykxeer-aflggohqldn5ah3m20d_t-9u)

Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

EdyHartulistiyoso (2015). Temperature Distribution of the Plastics Pyrolysis Process to Produce Fuel at 450° C. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.030>

Edy Hartulistiyoso, Febri A.P.A.G. Sigiro, Muhamad Yulianto, Temperature Distribution of the Plastics Pyrolysis Process to Produce Fuel at 450°C, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 28, (2015), Pages 234-241, ISSN 1878-0296, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.030>.

Espinoza, J. E., & Cabrera, T. M. (2014). Estudio De Viabilidad Técnica Preliminar Para La Obtencion De Combustible Mediante La Pirolisis De Residuos Plásticos Generados En La Universidad Politécnica Salesiana. *Estudio De Viabilidad Técnica Preliminar Para La Obtencion De Combustible Mediante La Pirolisis De Residuos Plásticos Generados En La Universidad Politécnica*, 3. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7014/1/UPS-CT003680.pdf>

Espinoza, J., Naranjo, T. (marzo, 2014). Estudio de viabilidad preliminar para la obtención de combustibles, mediante la pirólisis. <https://dspace.ups.edu.ec/>

Espinosa, E. (2009, septiembre). Modelo de gestión de residuos plásticos . Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 5. <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/GestionYPoliticaAmbiental/Modelo%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20pl%C3%A1sticos.pdf> El plástico que comemos es Higiene

Figueroa, j. (2020). obtención de líquido combustible a partir de la pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno. *universidad de las fuerzas armadas*, 21(1), 1–9. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>

Fotopoulou KN, Karapanagioti HK (2012) Surface properties of beached plastics pellets mar environ Res 81:70-77.

Ferreira, I., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2019). Nanoplastics and marine organisms: What has been studied? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 67(January), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.01.006>

Galloway, T., Haward, M., Mason, S. A., Hardesty, B. D., & Krause, S. (2020). Science-Based Solutions to Plastic Pollution. *One Earth*, 2(1), 5–7. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.01.004>

Ghaly, a. e. y ergudenler a. . (2001). thermal degradation of cereal straws in air and nitrogen. applied biochemistry and biotechnology, 111-127

Garrido, A. (2020). Diseño y Selección de equipos de ciclo Rankine en planta de pirólisis de plástico. *Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Profesor*.

Gil , Sebastián n, et al. “Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos.” mayo, 2019, drive/folders/1zYkXEER-aFIGgohQLDN5aH3M20D\_t-9U

Gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta. (2017). Retrieved 2 February 2020, from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-4230490>

Jordan, w., zurita, p. (2018). Diseño y construcción de un reactor de pirólisis térmica, para el aprovechamiento de residuos plásticos de polipropileno, generados en la epoch. Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Jaime, C., Cadavid, I. (2019). Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos. 37 .

Klingelhöfer, D., Braun, M., Quarcoo, D., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2020). Research landscape of a global environmental challenge: Microplastics. *Water Research*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115358>

Laboratorio Mediante Pirólisis a Partir De Residuos Plásticos Provenientes Del Proceso De Empacado En La Empresa Atlantic Fs S.a.S. *Fundación Universidad de América*, 1–152. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6951/1/6131986-2018-2-IQ.pdf>

Mendoza, A. E. (2016). Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis. 1–106. <http://www.repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/116/1/387385.pdf>

Micro (nano) plásticos en el medioambiente y en la biota marina [ebook] (pp. 6-7). retrieved from [http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-ciencias-cytqmatoledo/toledo\\_martinez\\_\\_maria\\_angeles\\_tfm.pdf](http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-ciencias-cytqmatoledo/toledo_martinez__maria_angeles_tfm.pdf)

Mendoza, A. E. (2016). *Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis*. 1–106. <http://www.repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/116/1/387385.pdf>

Mendenhall, E., Oceans of plastic: A research agenda to propel policy development. *Marine Policy*: 2018; pp 291-298. Chae, Y., Kim, D., Kim, S. W., & An, Y. J. (2018). Trophic transfer and individual impact of nano-sized polystyrene in a four-species freshwater food chain. *Scientific Reports*, 8(1), 1– 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18849-y>

Mesa uegui, m. p. m. u., ortíz rodríguez, c. i. (2016). evaluación del proceso de pirólisis para la producción de diesel a nivel laboratorio a partir de residuos plásticos de industrias de alimentos

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/477/1/6111667-2016-2-IQ.pdf>

Muhammad, C , Onwudili, JA y Williams, PT (2015) Pirólisis catalítica de residuos plásticos de equipos eléctricos y electrónicos. *Revista de pirólisis analítica y aplicada*, 113. 332 - 339. ISSN 0165-2370 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2015.02.016>

Muñoz. “ALGAS: Potencial Materia prima para biocombustibles mediante PIROLISIS.” *ALGAS: Potencial Materia prima para biocombustibles mediante PIROLISIS*, 2014, /DannymLays/algas-potencial-materia-prima-para-biocombustibles-mediante-p

ONU Medio Ambiente o nos separamos del plástico o nos olvidamos del medio ambiente. S. Heinrichs(2017) <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-87872015000100005&lang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872015000100005&lang=es).

Parker, L. (2019). Ahogados en un mar de plástico. [www.nationalgeographic.com.es](http://www.nationalgeographic.com.es). Retrieved 21 March 2020, from [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandesreportajes/ahogados-mar-plastico\\_12712/1](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandesreportajes/ahogados-mar-plastico_12712/1).

Peng, L., Fu, D., Qi, H., Lan, C. Q., Yu, H., & Ge, C. (2020). Micro- and nano-plastics in marine environment: Source, distribution and threats — A review. *Science of the Total Environment*, 698.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134254>

Pintoja, O., & Paul, P. (2015). *Desarrollo De Una Ingeniería Conceptual Para El Proceso De Pirólisis Térmica De Residuos Plásticos De Polipropileno Y Poliestireno*.

Raffino, M. (2020). Plástico. Retrieved 1 April 2020, from

[https://concepto.de/plastico/#Tipos\\_de\\_plastico](https://concepto.de/plastico/#Tipos_de_plastico)

Saad, JM and Williams, PT (2016) Pyrolysis-Catalytic-Dry Reforming of Waste Plastics and Mixed Waste Plastics for Syngas Production. *Energy and Fuels*, 30 (4). pp. 3198-3204. ISSN 0887-0624

<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02508>

Salesiana. Estudio De Viabilidad Técnica Preliminar Para La Obtención De Combustible Mediante La Pirólisis De Residuos Plásticos Generados En La Universidad Politécnica,

Sánchez, ME, Morán, A., Escapa, A. et al. Análisis termogravimétrico y espectrométrico de masas simultáneo de la pirólisis de residuos sólidos urbanos y tereftalato de polietileno. *J Therm Anal Calorim* 90, 209-215 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10973-006-7670-7>

Scott, D.S., Czernik, S.R., Radlein, D., *Energy Biomass Wastes*, 18, 1009 (1991).

Sostenibilidad para todos. “La economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos.” *EN QUÉ CONSISTE LA ECONOMÍA CIRCULAR*, 207. <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible>

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7014/1/UPS-CT003680.pdf>.

Taipe, j. (2020). obtención de combustibles a partir de residuos de polipropileno reciclado, mediante pirólisis catalítica. *universidad de las fuerzas armadas*, 53(9), 1689–1699

.Torres, A. K., & Castañeda, P. C. (2018). Evaluación De La Obtención De Diésel a Nivel

Toledo Martínez, M. (2019). REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PIROLISIS.

Torres, A. K., & Castañeda, P. C. (2018). Evaluación De La Obtención De Diésel a Nivel Laboratorio Mediante Pirólisis a Partir De Residuos Plásticos Provenientes Del Proceso De Empacado En La Empresa

Vadillo, U. (2014). Producción De Hidrógeno a Partir De Plásticos Mediante Pirólisis Y Reformado Catalítico En Línea. *Universidad Del País Vasco*, 42. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/15229/TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zacarías, Adriana. “Cambio climático y medioambiente.” <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801>, 12 12 2018, <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801>.