



**ANÁLISIS DEL RECICLAJE QUÍMICO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA
PARA LA VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS
POST-CONSUMO**

**KELLY LIZZETH RONCACIO CARDONA
INGENIERA AMBIENTAL**

**TUTOR
ERIKA JOHANA RUIZ SUÁREZ**

**ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE
LOS RECURSOS NATURALES**

**POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD MILITAR LA NUEVA GRANADA**

2017

ANÁLISIS DEL RECICLAJE QUÍMICO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA LA VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS POST-CONSUMO

ANALYSIS OF CHEMICAL RECYCLING AS A TECHNOLOGICAL ALTERNATIVE FOR THE VALUATION AND FINAL DISPOSAL OF PLASTIC RESIDUES POST-CONSUMPTION

Kelly Lizzeth, Roncancio Cardona
Ingeniera Ambiental, Universidad Militar La Nueva Granada, Bogotá, Colombia,
u2700796@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Colombia ha sido considerada como un país en vía de desarrollo y este progreso se ha hecho notorio en el crecimiento económico que ha tenido en los últimos años, el cual se ve reflejado en el consumo de energía, materiales, servicios y en la generación de residuos.

En este último, se ha registrado un mayor incremento debido al elevado consumo de materiales plásticos, los cuales en la actualidad tienen múltiples aplicaciones debido a sus características físicas, propiedades y bajo costo.

Sin embargo, a raíz de la utilización de este tipo de materiales se evidencian diferentes problemáticas ambientales como la emisión de gases efecto invernadero, contaminación de suelos y cuerpos de agua; a causa de su no biodegradabilidad, los cuales se presentan durante todo su ciclo de vida [1].

Es por esto, que en el desarrollo de esta investigación se analizan las alternativas tecnológicas existentes de reciclaje químico para la valorización y disposición final de los residuos plásticos post-consumo, con el objetivo de identificar cuáles son los desafíos ambientales y económicos que enfrenta este importante sector. De manera que sirva como base para identificar la alternativa más apropiada para el manejo de dichos materiales

Palabras Clave: Plástico, Valorización, Reciclaje, Residuo

ABSTRACT

Colombia has been considered as a developing country and this progress has become evident in the economic growth that it has had in recent years, which is reflected in the consumption of energy, materials, services and the generation of waste.

In the latter, there has been a greater increase due to the high consumption of plastic materials, which currently have multiple applications due to their physical characteristics, properties and low cost.

However, as a result of the use of this type of material, different environmental problems are evident, such as the emission of greenhouse gases, contamination of soils and bodies of water; because of its non-biodegradability. Which occur throughout their life cycle [1].

This is why, in the development of this research, the existing technological alternatives of chemical recycling for the recovery and final disposal of post-consumer plastic waste are analyzed, in order to identify which are the environmental and economic challenges facing this important sector in Colombia. So that it serves as a basis for identifying the most propitious alternative for our country

Keywords: Plastic, Valorization, Recycle, Residue

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el incremento de la producción de materiales plásticos se ha elevado considerablemente en los últimos 50 años, lo cual ha permitido observar cómo la competitividad y el mercado del sector se acrecienta cada vez más y especialmente en las últimas décadas, donde se han evidenciado crecimientos hasta del 50% entre los años 2002 y 2013, permitiendo registrar en el año 2015 aproximadamente 322 millones de toneladas, según lo indica la Asociación de Productores de Plásticos de Europa (PlasticsEurope)[2].

En la actualidad la demanda de estos materiales plásticos ha alcanzado niveles nunca antes registrados, producto de sus diversos usos, por lo que se proyecta alcanzar los 500 millones de toneladas para el año 2020, lo que supondría un aumento significativo del 900% con respecto a los niveles registrados en el año de 1980[3].

La ascendente demanda de este material ha generado que esté se encuentre expuesto a una constante evolución, fomentando así mejoras en sus propiedades físico-químicas y mecánicas permitiendo consigo aumentar su aplicabilidad; lo que genera a su vez un crecimiento elevado del consumo ya que además del mercado propio que tienen, están abarcando aplicaciones antes exclusivas de otros materiales como el vidrio, papel y metales, debido a sus buenas propiedades y su relación costo-beneficio [4].

Hasta la fecha los países que reportan cifras elevadas de producción y consumo de materiales plásticos, son todos aquellos que cuentan con economías sólidas como es el caso de los que integran la Unión Europea, Estados Unidos y China. De donde se destacan por la producción de termoplásticos y poliuretanos [2].

Cabe destacar que no se cuenta con cifras oficiales que registren el aumento de la producción de plásticos en la industria de américa latina, pero se destacan países

como México, Brasil, Colombia, Argentina y Venezuela como los que encabezan esta actividad productiva comparada con otros países de la región [2].

A escala nacional se ha evidenciado un crecimiento en la producción de artículos plásticos del 7,8 %, estimando una disminución de 2,8% para el año 2012, según lo descrito por el Presidente de la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas, Carlos Alberto Garay Salamanca para el año 2011 [5].

Seguidamente en los años 2010 y 2011 la producción de plásticos creció 9,5% y 7,8%, lo que se debió al buen comportamiento de la demanda final interna y las tasas de exportaciones del subsector [5].

Para el año 2012 según lo descrito en el informe de Industria de enero de 2014 realizado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo el cual afirmó que el subsector se contrajo 6,4% en su producción, como consecuencia de la menor demanda interna como externa, y el bajo crecimiento de sus exportaciones. La tendencia continuó y su producción real disminuyó 3,2 % según las cifras obtenidas de febrero de 2013 y 2014 [6].

Adicional a la constante oferta y producción de este tipo de materiales a nivel mundial, vale la pena resaltar las repercusiones que tiene la implementación de éste en diferentes elementos y actividades humanas, principalmente las problemáticas ambientales dentro de las cuales se destacan, el uso de este tipo de material conlleva a diferentes problemáticas ambientales que surgen en todo su ciclo de vida, desde la etapa de producción, donde se generan elevados consumos de energía, como también en la etapa extracción de la materia prima empleada, la cual proviene de una fuente de carbono no renovable, hasta llegar a la etapa de disposición final.

Se debe destacar que los principales impactos ambientales negativos relacionados al ciclo de vida de los plásticos están asociados a esta última, ya que en la actualidad no se cuenta con una gestión adecuada de estos materiales , adicionalmente el hecho de que estos no son materiales biodegradables dificultan su disposición, convirtiéndose en un problema de acumulación en los centros de disposición final como rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto, debido a que menos del 10% de los plásticos que se implementan son reciclados [7].

Es por todo lo anterior que se considera hoy por hoy el plástico el material de mayor oferta y demanda a nivel mundial debido a sus diversas aplicaciones, las cuales se han extendido en todos los aspectos de la vida diaria del ser humano.

Por tal motivo, se hace pertinente identificar las alternativas tecnológicas de reciclaje químico más convenientes para la valorización y disposición final de los residuos plásticos post-consumo en Colombia, partiendo de establecer los distintos tipos de materiales plásticos, de identificar los principales impactos ambientales de los materiales plásticos, de copilar la normativa existente para la disposición final de residuos plásticos, de analizar el estado del arte de la disposición final de los residuos plásticos post-consumo por medio del reciclaje químico y de establecer una comparación a nivel económico y ambiental de las alternativas de reciclaje químico

que se han implementado en el contexto internacional. Con el fin de disminuir los impactos ambientales generados por estos materiales y contribuir a un mejor manejo de los residuos según lo establecido por la legislación.

1. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación se llevó a cabo con la compilación de información tanto nacional como internacional; procedente de Libros, documentos estratégicos, documentos públicos, revistas y trabajos de investigación; bases de datos, legislación ambiental, políticas, sitios web y páginas estatales.

Continuo a esto se procedió analizar y clasificar la información por medio de 5 fases, según cada uno de los interrogantes del proyecto.

FASE 1 (Establecer los distintos tipos de materiales plásticos)

Se realizó partiendo del análisis de la información compilada alusiva a los distintos tipos de materiales plásticos, donde posteriormente se clasificó según el origen del monómero base, su comportamiento frente al calor y su biodegradabilidad.

FASE 2 (Identificar los principales impactos ambientales de los materiales plásticos)

Se basó en la identificación de los impactos ambientales negativos que surgen durante las etapas de extracción de materia prima, producción y disposición final de los materiales plásticos a través de la revisión de la literatura existente.

FASE 3 (Copilar la normativa existente para la disposición final de residuos plásticos)

Se llevó a cabo por medio de una revisión cronológica de la normativa vigente en Colombia concernientes a la gestión integral de residuos sólidos compilada en Decretos Ley, Leyes, Decretos, Resoluciones, Guías y Normas técnicas; políticas y Acuerdos Internacionales

FASE 4 (Analizar el estado del arte de la disposición final de los residuos plásticos post-consumo por medio del reciclaje químico)

Se analizaron las tecnologías existentes de reciclaje químico de acuerdo a la información obtenida, identificando en que consiste, su funcionamiento y los distintos tipos de reciclaje químico existentes.

FASE 5 (Establecer una comparación a nivel económico y ambiental de las alternativas de reciclaje químico que se han implementado en el contexto internacional)

La comparación de las tecnologías, se realizó a través de una matriz basada en los siguientes dos criterios:

- Ambiental: se evaluó la pertinencia ambiental de la tecnología teniendo en cuenta las alteraciones medioambientales (impactos positivos y negativos) que genera su implementación.
- Económica: se evaluó la viabilidad comercial del producto de cada una de las tecnologías.

Las bases de datos más representativas durante esta investigación, fueron las siguientes:

- Google académico
- Biblioteca virtual UMNG
- Scielo
- redalyc.org
- american chemical society.com (acs.org)
- sciencedirect.com

2. RESULTADO

2.1. TIPOS DE MATERIALES PLÁSTICOS

La clasificación de los tipos de materiales plásticos se lleva a cabo según el origen del monómero base, su comportamiento frente al calor y su biodegradabilidad [8,9]

2.1.1. Origen del monómero base:

Los materiales plásticos se pueden clasificar en naturales y sintéticos, el primero de estos hace alusión a los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural renovables, un ejemplo de esto son la celulosa, el almidón, los polisacáridos y las proteínas; mientras que los sintéticos son todos aquellos que tienen origen en fuentes de carbono no renovable, principalmente los derivados del petróleo como lo son, el paraxileno y el etileno. [10]

2.1.2. Estructura y comportamiento frente al calor:

Los materiales plásticos se pueden clasificar en termoplásticos, termoestables y elastómeros. El primero de estos, se caracteriza por ser fácilmente moldeable al someterse a temperatura y presión, de estos se destacan las Resinas celulósicas (rayón), los Polietilenos y derivados (PVC, el poliestireno, el metacrilato); mientras los termoestables son todos aquellos que solamente son blandos al calentarlos por primera vez, ya que después de ser enfriados no pueden recuperarse para posteriores transformaciones, también se caracterizan por ser un material compacto y duro, de estos se hace hincapié en las resinas fenólicas, resinas de poliéster, resinas epóxicas, poliuretano y resinas de melanina; por último los elastómeros, estos cuentan con propiedades elásticas como el caucho a las temperaturas de uso, cuando estos se someten a tensión se alargan, pero cuando se suspende la tensión recuperan su forma original. Un ejemplo de estos son el poliisopreno o caucho natural y el poliisobutileno.

[11]

2.1.3. Biodegradabilidad:

Son aquellos plásticos que se degradan por la acción de microorganismos como bacterias, hongos y algas. Los cuales se pueden clasificar en resistentes, parcialmente y completamente biodegradables. El primero está compuesto por derivados de petróleo, la cual está reforzada generalmente con carbono y fibra de vidrio, haciendo que sean impenetrables para los microorganismos, hongos y algas, que son los encargados de la biodegradación; por el contrario los parcialmente biodegradables cuentan con una mezcla de fibras naturales y polímeros sintéticos permitiendo consigo que se degrade la parte de fibra natural pero persiste la parte sintética, su degradación se caracteriza por ser más rápida que la de los plásticos convencionales; por último encontramos lo completamente biodegradables, los cuales se derivan de fuentes naturales renovables, lo que permite que los microorganismos tengan la capacidad de consumir estos polímeros y reducirlos a dióxido de carbono y agua.[9,12]

Es por esta razón que se hace pertinente establecer los principales tipos de materiales plásticos, sus aplicaciones y el código internacional de reciclado utilizados en Colombia, descritos en la tabla Nro. 1 según lo indica la Guía Ambiental del Sector Plástico del 2004 [13].

Tabla 1. Tipos de plásticos y sus aplicaciones

TIPO DE PLÁSTICO	CÓDIGO	COMPONTE	USOS
Polietileno Tereftalato (PET)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Paraxileno • Etileno 	Botellas (Gaseosas, agua, aceite y vinos), envases farmacéuticos tejas, películas para el empaque de alimentos, cuerdas, cintas de grabación, alfombras, zuncho, rafia, fibras.
Polietileno de alta densidad (PEAD)	2	<ul style="list-style-type: none"> • Etileno 	Tuberías, embalajes, láminas industriales, tanques, bidones, canastas o cubetas, botellas, recubrimiento de cables; contenedores para transporte, vajillas plásticas, letrinas, cuñetes para pintura, bañeras, cerramientos, juguetes, barreras viales, conos de señalización.
Cloruro de polivinilo PVC	3	<ul style="list-style-type: none"> • Etileno • Cloro 	Tuberías, accesorios para sistemas suministro de agua potable, riego y alcantarillado, ductos, canaletas de drenaje y bajantes; perfiles y paneles para revestimientos exteriores, ventanas, puertas, cielorrasos y barandas; tejas y tabletas para pisos; partes de electrodomésticos y computadores; vallas publicitarias, tarjetas bancarias y otros elementos de artes gráficas; envases de alimentos, detergentes y lubricantes
Polietileno de baja densidad (PE-BD, PE-LBD)	4	<ul style="list-style-type: none"> • Etileno 	Películas para envolver productos y para uso agrícola y de invernadero; láminas adhesivas; botellas y recipientes varios; tuberías de irrigación y mangueras de conducción de agua; bolsas y sacos, tapas, juguetes; revestimientos; contenedores flexibles.
Polipropileno (PP)	5	<ul style="list-style-type: none"> • Propileno • Etileno 	Película para empaques flexibles (confitería y pasabocas), bolsa de reempaque y en general, laminaciones, Rafia, cuerda industrial, fibra textil, zuncho, muebles plásticos, utensilios domésticos, geotextiles, mallas plásticas, carcasas de baterías, vasos desechables, tarrinas, empaques para detergentes, tubería, botellas, botellones, juguetería.
Poliestireno (PS)	6	<ul style="list-style-type: none"> • Etileno • Benceno 	Envases y empaques (uso permanente y de un solo uso); carcasas de equipos eléctricos, gabinetes interiores; contraportas de neveras, aplicaciones en la industria

			farmacéutica, accesorios médicos. Juguetería y recipientes de cosméticos
Otros (PC, ABS, SAN, PA, Nylon y POM)	7	<ul style="list-style-type: none"> • Petróleo • Gas natural • Aire 	Botellones para agua, discos compactos, carcazas para computadores y equipos de tecnología, películas y envases para alimentos.

Fuente: Adaptado del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004).

Por medio de la tabla Nro. 1, se puede inferir que los tipos de plásticos más implementados en Colombia son el PVC, PET, PEAD y PEBD. Ya que cuentan con una cantidad elevada de aplicaciones en el mercado, como en accesorios para suministro de agua, botellas para productos alimenticios, juguetería y para recipientes varios.

2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS

La problemática ambiental de los materiales plásticos surge en cada una de las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima empleada hasta su disposición final. Todo esto se encuentra asociado al consumo de energía y recursos naturales, como también a la emisión de sustancias al medio ambiente. Inicialmente se debe al hecho de que el petróleo es la materia prima empleada en mayor proporción para la fabricación de estos productos, lo que repercute considerablemente no solo en el impacto que causan durante los procesos de producción del plástico, sino también durante su disposición final, contribuyendo consigo a la generación de modificaciones al medio ambiente. [14,15]

A continuación se identifican los impactos ambientales que surgen durante las etapas de extracción de materia prima, producción y disposición final de los materiales plásticos. [14,15]

2.2.1. Etapa de extracción

Para la fabricación de estos productos, se requiere como principales componentes el petróleo y gas natural y aire. Los cuales conllevan a generar alteraciones en el equilibrio natural de los ecosistemas, provocando consigo la pérdida de la biodiversidad y modificaciones de los patrones de conducta de los animales producto de la contaminación acústica ocasionado por las perforaciones; conjuntamente el consumo y contaminación de grandes cantidades de agua, además el transporte de combustibles puede ocasionar zonas de derrames químicos y daños irreversibles en la vegetación. [16]

A continuación se describen los impactos ambientales asociados a la etapa de extracción de la materia prima, en la tabla Nro. 2.

Tabla 2. Impactos Ambientales asociados a la etapa de extracción de la materia prima

MATERIA PRIMA		
FASE	ELEMENTO	IMPACTOS AMBIENTAL

Prospección sísmica	Proceso geofísico que consiste en crear temblores artificiales en la tierra, identificando las estructuras que potencialmente almacenan hidrocarburos. [17]	AGUA	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de las características fisicoquímicas • Generación de sedimentos a cuerpos de agua • Alteración de la calidad hidrogeológica • Modificación de los caudales
		AIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de material particulado • Cambios en la emisión de gases • Cambio en la calidad del aire • Modificación de los niveles de ruido
Perforación	Proceso que se encarga de triturar la roca a gran profundidad. [17]	SUELO	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios de uso del suelo • Alteración de las características fisicoquímicas y biológicas del suelo • Modificación de la topografía del suelo • Alteración de horizontes edáficos
		FAUNA	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la biodiversidad
Extracción	Proceso que evalúa el tamaño de las reservas presentes. [17]	FLORA	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la cobertura vegetal del suelo • Modificación de especies nativas • Colonización de especies invasoras
		PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad visual del paisaje • Alteración en la valorización de los predios
		ECOSISTEMAS	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración en áreas de gran importancia ambiental
Transporte	Proceso que tiene como finalidad transportar el crudo extraído por oleoductos a una infraestructura central donde es tratado. [17]	ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo
		SOCIOCULTURAL	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos sólidos • Generación de expectativas • Afectación de la salud

Fuente: Adaptado de Calao Ruiz, J.E. (2007).

De la anterior tabla Nro. 2, se puede inferir que el mayor número de impactos ambientales se encuentra asociado a los elementos agua, aire y suelo; lo anterior se relaciona claramente con la explotación de sector petrolero por su articulación directa con la obtención de la materia prima.

Etapa de producción

Los impactos ambientales en esta etapa se asocian al proceso de refinación de petróleo, en la cual se procede a realizar la separación del petróleo crudo en diferentes subproductos por medio de la destilación. Los cuales son procesados más a detalle con el fin de convertirse en derivados de petróleo netamente comerciales, siendo más útiles para diversos métodos de producción de plásticos tales como craqueo, reformado, alquilación, polimerización e isomerización. [18]

Los impactos ambientales de esta etapa, se observan en la tabla Nro. 3

Tabla 3 Impactos Ambientales asociados a la fase de producción de los plásticos

PRODUCCIÓN		
FASE	ELEMENTO	IMPACTO AMBIENTAL

Refinación	Separación del petróleo crudo en diferentes fracciones de la destilación. [18]	AGUA	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de las características fisicoquímicas • Generación de sedimentos a cuerpos de agua • Generación de vertimientos
		AIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de material particulado • Generación de Emisiones atmosféricas • Alteración de la calidad del aire • Alteración de los niveles de ruido.
		SUELO	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios de uso del suelo • Modificación de la topografía del suelo
		FAUNA	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la biodiversidad
		FLORA	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la cobertura vegetal del suelo • Modificación de especies
		PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad visual del paisaje • Alteración en la valorización de los predios
		ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo
		SOCIO-CULTURAL	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos • Generación de expectativas • Afectación de la salud

Fuente: Adaptado de Grimaldo Valdez, L.H. (2009).

De acuerdo con la tabla Nro. 3, se deduce que el mayor número de impactos ambientales, se encuentra asociados a los elementos aire y agua, producto de las alteración significativa que se generan en ambos.

2.2.2. Disposición final

La disposición final de los plásticos es tal vez la fase donde se genera un incremento significativo en la aparición de impactos ambientales, todo esto se debe a que estos materiales no cuentan con características de biodegradabilidad, por lo que el tiempo de descomposición es lento, lo que conlleva a que persistan entre 100 a 1000 años en los sitios de disposición final. [19]

Es por todo lo anterior que a nivel mundial el principal impacto ambiental es la contaminación de los océanos y mares, producto de los niveles bajos de educación y cultura en cuanto a la gestión ambiental de los seres humanos y al desconocimiento de alternativas tecnológicas para esta etapa. [16,20]

En la tabla Nro. 4, se identificarán los principales impactos ambientales asociados a la etapa de disposición final:

Tabla 4 Impactos ambientales negativos asociados a la fase de disposición final de los plásticos

DISPOSICIÓN FINAL		
FASE	ELEMENTO	IMPACTOS AMBIENTAL
Relleno sanitario	Es el lugar o área donde se lleva a cabo una disposición final de los residuos	AGUA <ul style="list-style-type: none"> • Alteración de las características fisicoquímicas • Generación de sedimentos a cuerpos de agua • Generación de vertimientos

	sólidos de manera controlada. [16,20]	AIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de material particulado • Generación de Emisiones atmosféricas • Alteración de la calidad del aire • Generación de olores ofensivos • Alteración de los niveles de ruido.
		SUELO	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios de uso del suelo • Modificación de la topografía del suelo
		FAUNA	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la biodiversidad • Migración de fauna • Aparición de vectores
Otros	Existen otros tipos de disposición final que no cuentan con supervisión técnica. [16,20]	FLORA	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la cobertura vegetal del suelo • Modificación de especies
		PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la calidad visual del paisaje • Fragmentación del paisaje
		ECOSISTEMAS	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración en áreas de gran importancia ambiental • Alteración de hábitats marinos
		ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo • Alteraciones en sistemas de acueducto y alcantarillado • Pérdida de materia prima • Alteración en la valorización de los predios • Alteración de la vida útil del relleno sanitario • Modificación del ciclo de vida del material plástico • Generación de residuos
		SOCIOCULTURAL	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de islas de plástico • Alteraciones en la salud pública • Generación de expectativas • Alteraciones de la salud pública • Generación de nuevas enfermedades

Fuente: Adaptado de Procesos para la obtención del Petróleo y los Impactos Ambientales generados por actividades petroleras.(2010).

En la tabla Nro. 4, se observa que el mayor número de impactos ambientales se encuentran asociados a los elementos agua, aire; resaltando también considerables afectaciones en el aspecto social y económico de la población en la etapa de disposición final.

LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Se hizo pertinente en esta investigación, realizar una compilación de la normativa establecida en Colombia para la gestión integral de residuos sólidos, descrita en la tabla Nro. 5.

Tabla 5. Normativa Colombiana Establecida a Residuos Sólidos

Decreto ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Título III (De los residuos, basuras, desechos y desperdicios) Art (34°,35°,36° ,37°)
Ley 09 de 1979	Da entrada a las medidas sanitarias sobre manejo de los residuos sólidos. TITULO 1 (de la protección del medio ambiente) Residuos sólidos Art (25°, 27° ,37°)

Declaración de Rio 1992	Establece una alianza mundial en la cual se acuerda respetar los intereses de todos y de proteger la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial, reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, como nuestro hogar.
Agenda 21 (capitulo 21)	Incorpora las bases para un manejo integral de los residuos sólidos municipales como parte del desarrollo sostenible, el cual debe contemplar: <ul style="list-style-type: none"> • La minimización de la producción • El reciclaje • La recolección y tratamiento • La disposición final adecuada
Ley 99 de 1993	Adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)
Documento CONPES 2750 de 1994	Inserta la políticas sobre manejo de residuos sólidos, (Resolución 0189 de 1994) se encarga de impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos
Ley 253 de 1996	Aprueba el convenio de Basilea para el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación
Ley 388 de 1997 Ley de Ordenamiento Territorial	CAPITULO I (Ordenamiento del territorio municipal) Art 8° Acción Urbanística
Guía Técnica GTC 35 de 1997	Fija la guía para la Recolección Selectiva de Residuos Sólido
Política para la Gestión integral de Residuos 1998	Está orientada a dos ejes temáticos: <ul style="list-style-type: none"> • Es obligación del Estado orientar y establecer un marco de acción para las entidades públicas con responsabilidades de la gestión de residuos sólidos, desde el punto de vista del saneamiento ambiental. Comprende los aspectos técnicos, económicos, administrativos, ambientales y sociales involucrando la prestación del servicio de aseo. • La vinculación del sector privado en cuanto a la generación de residuos, en especial a la temática que concierne la Producción más limpia.
Resolución 1096 de 2000	Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico –RAS TITULO F (Sistema de Aseo Urbano) Establece tanto los criterios de localización de la infraestructura para plantas de clasificación, incineración y rellenos sanitarios; como también los criterios básicos para el diseño y la operación de los rellenos sanitarios.
Cumbre mundial sobre Desarrollo Sostenible 2002	Acuerda para el 2015 prevenir y reducir al mínimo los desechos y aumentar en la medida de lo posible la reutilización y el reciclaje de materiales alternativos que no dañen el medio ambiente, con participación de los gobiernos y todos los interesados.
Resolución 058 2002	Incorpora las normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.
Guía Técnica Colombiana GTZ 86 de 2003	Da origen a la guía para la implementación de la Gestión Integral de Residuos (GIR)
Decreto 838 del 2005	Establece los lineamientos para la adecuada disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 4741 de 2005	Reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Resolucion 1390 del 2005	Establece las directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones
Decreto 2436 de 2008	Promueve la regionalización de los rellenos sanitarios
Norma Técnica Colombiana GTC 24 de 2009	Da entrada a los lineamientos sobre la separación en la fuente y el Código de Colores para residuos reciclables y no reciclables.
Resolución 4143 de 2012	Pone en marcha el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional.

Decreto 2981 de 2013	Reglamenta la prestación del servicio público de aseo.
Decreto 349 de 2014	reglamenta la imposición y aplicación del Comparendo Ambiental en el Distrito Capital
Resolución 754 de 2014	Introduce la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los PGIRS; como también los actores encargados, obligaciones, articulación con los Planes Esquemas de Ordenamiento Territorial, factores tomados en cuenta para la adopción de programas de aprovechamiento y seguimiento al plan.
Decreto 351 de 2014	Incorpora la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades
Decreto 1077 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio Parte 3 –TÍTULO III Servicio Público de Aseo
Resolución 668 de 2016	Reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.
Documento CONPES 3874 de 2016	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Fuente: Adaptado de la Legislación ambiental Colombiana. (2017).

En la tabla Nro. 5, se puede inferir que en Colombia desde el año 1974 y hasta la fecha, se cuenta con numerosas normas ambientales relacionadas a la gestión integral de los residuos sólidos, las cuales tienen como objetivo velar en pro de la protección del medio ambiente y en la reducción de la contaminación causada por estos Residuos..

2.3. RECICLAJE QUÍMICO

En la actualidad la valorización de los plásticos post-consumo se ha convertido en una herramienta estratégica, que tiene como finalidad preservar la materia prima y reducir los impactos ambientales generados en todo su ciclo de vida. Adicionalmente tiene como propósito reducir de manera significativa la cantidad de residuos plásticos que van a sitios de disposición final.

Para esta investigación, se analizan en que consiste y cuáles son los tipos de reciclaje químico existentes. [21]

El reciclaje químico, es un proceso en el cual las macromoléculas de los polímeros son craqueadas, transformándose en compuestos de bajo peso molecular; para finalmente por medio de un proceso de separación y purificación pueden ser utilizados nuevamente. En ciertos casos los polímeros, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y catalizadores, vuelven a los monómeros originales de los que partieron como materia prima. Dichos monómeros se purifica y pueden volver a usarse para producir nuevamente polímeros con iguales características que el polímero virgen. [21]

El reciclaje químico cuenta con 4 métodos tecnológicos de valorización, los cuales serán descritos a continuación

2.3.1. PIRÓLISIS

Se conoce como la degradación térmica de los residuos plásticos en ausencia de oxígeno o con muy bajo nivel del mismo. A partir de esta, las macromoléculas presentes en los plásticos (termofijos y termoplásticos), son reducidas a compuestos de bajo peso molecular en una reacción exotérmica (emisión de calor). [22]

Esta primera metodología de reciclaje químico, es un proceso de ingeniería inversa, por medio del cual se obtiene los componentes iniciales que dieron origen al material que se está tratando. El funcionamiento de la pirolisis se describe a continuación:

- i. Se deposita el material plástico Post-Consumo en una campana en ausencia de oxígeno (reactor o pirolizador). Este reactor se calienta por medio de un horno industrial o pirólítico, hasta obtener una temperatura de 400°C (temperatura de fusión). En esta etapa se rompen los enlaces del compuesto convirtiendo los materiales plásticos en líquido. [22]
- ii. Al material plástico en estado líquido, se le eleva la temperatura hasta alcanzar los 500 o 520°C, donde la totalidad del líquido por efecto del calor es convertido en gas. [22]
- iii. Estos gases pasan a través de la salida de escape, de forma que son enfriados con nitrógeno líquido en la parte externa de la tubería y son conducidos a un tanque de agua. [22]
- iv. Al enfriar el gas se consigue el líquido del cual se obtienen cuatro productos: queroseno (25%), diésel (25%), gasolina (25%) y aceite (10%). El 10% restante está dado por el residuo plástico que queda en el fondo del reactor, conocido como “ripio”. Este material resultante suele emplearse para fabricar madera plástica. [22]

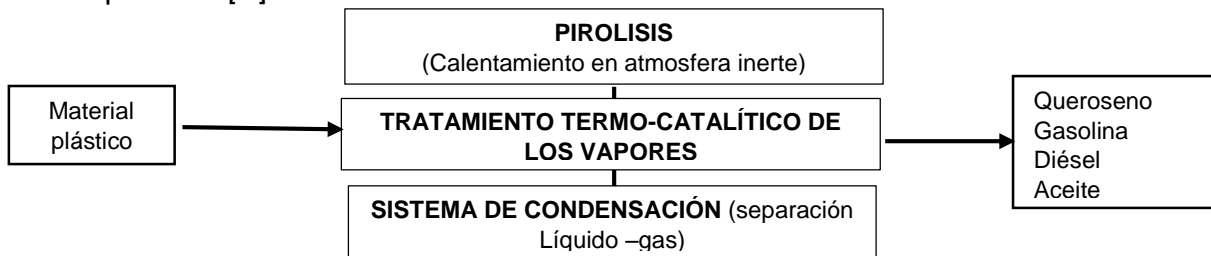


Imagen 1. Proceso Pirolisis
Fuente: Adaptado de Klug, M. (2012).

2.3.2. HIDROGENACIÓN

Se basa en la introducción de hidrógeno a los compuestos plásticos orgánicos, se lleva a cabo a temperaturas de 500°C y a presiones de 200 bar, en las cuales las macromoléculas se separan térmicamente, dejando centros activos libres que son ocupados posteriormente por el hidrógeno, durante el proceso el Cl, N, O son transferidos a sus formas hidrogenadas [21]

La transformación consiste en la obtención de una estructura saturada, que es muy estable y permite almacenar el producto resultante en un periodo largo, hasta su posterior tratamiento petroquímico. Metales y halógenos son liberados del residuo para pasar a formas hidrogenadas más fáciles de tratar. [24,25]

En la hidrogenación el calor degrada térmicamente las moléculas de las largas y complejas cadenas poliméricas. Esta tecnología es usada frecuentemente en las

refinerías que disponen de un anexo donde tratan estos residuos y los transforman en un líquido de composición similar al crudo de petróleo. [24,25]

Los plásticos hidrogenados son, esencialmente, hidrocarburos líquidos de estructura saturada de composición semejante al crudo de petróleo. Lo que los hacen hidrocarburos menos conflictivos. [24,25]

2.3.3. GASIFICACIÓN

Conjunto de reacciones termoquímicas, producto de la oxidación parcial de compuestos orgánicos. Para el desarrollo de esta tecnología se requiere de la presencia de un agente gasificante (vapor de agua u oxígeno), con el fin de obtener principalmente gases de síntesis de elevado poder calorífico, los cuales son posteriormente utilizados como materia prima para la producción de otros químicos o como combustible. [26]

La gasificación de materiales plásticos genera tanto combustibles líquidos como gaseosos, y consigo una cantidad representativa de residuo de carbono, que posteriormente deben ser tratados. [26]

La gasificación de residuos plásticos se lleva a cabo por medio de las siguientes 4 etapas:

- I. Consiste en la oxidación parcial de los materiales plásticos post-consumo, a partir de reacciones exotérmicas, la cuales se llevan a cabo sometiendo estos residuos a elevadas temperaturas. [27,28]
- II. Inicia en la zona de reducción, donde en ausencia de oxígeno y sujeta a la disponibilidad de carbono, CO₂ y vapor de agua, genera una recombinación hacia hidrógeno molecular y monóxido de carbono. [27,28]
- III. Es la pirolisis en la que, por efecto del calor, los componentes más ligeros de los residuos se rompen y se convierten posteriormente en gas. [27,28]
- IV. En esta, los gases calientes evaporan el agua contenida en los RSU entrantes. [27]

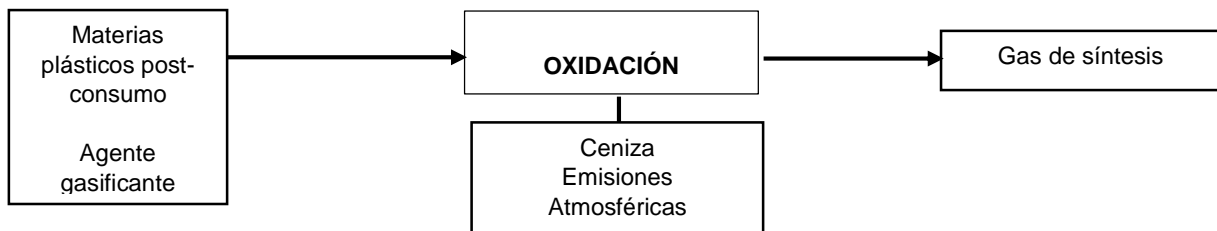


Imagen 2. Proceso Gasificación

Fuente: Adaptado de Saltos, Z. André, D. Nuñez. A. Washington, R. (2013).

2.3.4. METANÓLISIS

Proceso más avanzado de reciclado químico, se fundamenta en la introducción de metanol a los materiales plásticos post-consumo, generando una descomposición de estos, hasta alcanzar sus moléculas básicas, permitiendo consigo posteriormente ser repolimerizados para producir resina virgen. [21]

La metanólisis radica en la despolimerización de los materiales plásticos post-consumo por medio de un tratamiento al polímero, el cual es sometido a elevadas cantidades de metanol en presencia de un catalizador (trisopropóxido de aluminio, acetato de zinc y sales de ácido arilsulfónico), a presiones que oscilen entre 20-25 Kg/cm³ y temperaturas aproximadas de 180-280°C. [29]

El metanol implementado es reusado posteriormente en nuevos procesos, Los monómeros así obtenidos son usados para obtener nuevas fibras para la obtención de materiales plásticos.

Para el desarrollo de esta tecnología se requiere de las siguientes operaciones unitarias, descritas a continuación:

- la filtración centrífuga
- La cristalización multi etapa
- La destilación al vacío

A partir de estas etapas se busca descomponer los residuos plásticos en sus moléculas básicas, en este caso se hace referencia al dimetil tereftalato y etilenglicol, las cuales se pretenden reintegrar nuevamente a los procesos de polimerización para la obtención de PET virgen. [30]

Dando como producto dimetil tereftalato de alta calidad con resultados bastante consistentes. Este proceso permite ser implementado no solo para PET transparente sino también para PET de otras tonalidades y con contenidos de otros polímeros contaminantes (PE, PVC, polímeros termoestables). El metanol recuperado es reutilizado. [30]

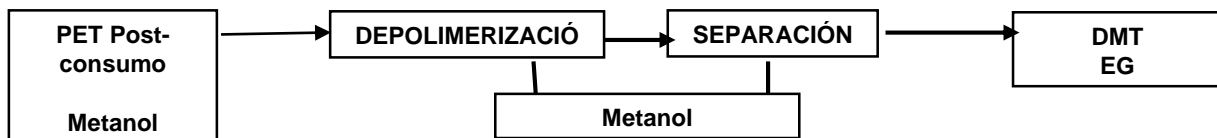


Imagen 3. Proceso Metanólisis

Fuente: Adaptado de Tecnología de los Plásticos. (2011).

2.4. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE RECICLAJE QUÍMICO

Partiendo del estudio realizado en el capítulo anterior, se estableció una comparación a nivel económico y ambiental de las alternativas de reciclaje químico que se han implementado en el contexto internacional.

El análisis de los criterios se llevó a cabo por medio de una matriz en la cual se identificaron los diferentes aspectos mencionados anteriormente, los cuales serán descritos a continuación:

Tabla 9. Comparación de las Alternativas de Reciclaje Químico

TECNOLOGÍA	ASPECTOS	
	ECONÓMICOS	AMBIENTALES
PIRÓLISIS	<p>Se requiere de alta inversión para la instalación y compra de equipos (hornos pirólíticos).</p> <p>La alimentación requiere pre-tratamiento para que se introduzca el material homogéneo y con humedad adecuada para que no afecte el rendimiento.</p> <p>Los costos de inversión están ligados a la cantidad de material con el que se dispone para trabajar.</p> <p>Los costos se encuentran asociados básicamente a los procesos de refinado a los que deben ser sometidos los hidrocarburos líquidos obtenidos</p> <p>El tratamiento que se debe realizar al residuo carbonoso para gestionar la cantidad de PCI resultante y a su vez a las operaciones de mantenimiento que se deben realizar para tratar las cenizas resultantes del proceso es de costos elevados.</p>	<p>El producto es una fracción líquida de fácil de manipulación, transporte y almacenado.</p> <p>Reducción de las emisiones a la atmósfera (óxidos de nitrógeno y azufre) por ser un proceso cerrado.</p> <p>Admite como combustible (alimentación) material residual de otros procesos.</p> <p>Tanto los productos o subproductos generados, cuentan con características para ser reutilizados.</p> <p>Proceso autosuficiente en el consumo de la energía.</p> <p>Genera como residuo ceniza producto de la combustión térmica que se realiza dentro del horno pirólítico, empleada en la fabricación de madera plástica.</p> <p>Los productos generados como los hidrocarburos líquidos deben ser sometidos a un proceso de refinación posterior. [30]</p>
HIDROGENIZACIÓN	<p>Proceso de elevados costos de implementación por su baja industrialización.</p>	<p>Genera como producto materiales muy puros, que no requieren extensos tratamientos posteriores para su refinación,</p> <p>Conserva el recurso hídrico y minimiza la implementación de químicos para su tratamiento.</p> <p>Genera problemas de corrosión derivados del HCL y otros compuestos durante el proceso. [23]</p>
GASIFICACIÓN	<p>Tecnología de baja implementación en la actualidad.</p> <p>Herramienta en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros.</p> <p>Tecnología de elevados costos de implementación por su baja industrialización. [32]</p>	<p>Versatilidad en la valorización de residuos.</p> <p>Producción de gas con características de combustible</p> <p>El producto puede ser usado para la generación de electricidad, calor o como materia prima para la manufactura de productos químicos sin contribuir a la generación de gases efecto invernadero.</p> <p>Concentración e inmovilización de componentes inorgánicos.</p> <p>Reducción en la emisión de concentraciones de partículas de óxidos de nitrógeno y de azufre, debido a la limpieza del gas de síntesis.</p> <p>Barrera para la formación de dioxinas y furanos:</p>

		<p>Alta temperatura y la falta de oxígeno en el ambiente reductor del gasificador previene la formación de cloro.</p> <p>Se requerir de una fuente de energía adicional para generar calor para dar inicio al proceso.</p> <p>Se requerir un tratamiento previo de la alimentación para asegurar la buena calidad del gas de síntesis. [26]</p>
METANÓLISIS	<p>Tecnología de elevados costos de implementación por su baja industrialización.</p>	<p>Genera las moléculas básicas de los materiales plásticos post-consumo</p> <p>El producto de esta tecnología presenta características similares a la resina de plástico virgen.</p> <p>Esta tecnología contribuye a la conservación y preservación del recurso natural no renovable.</p> <p>Disminución de los impactos ambientales asociados a la obtención de la materia prima de los materiales plásticos.</p> <p>Requiere de una clasificación previa acorde al tipo de resina para su óptimo rendimiento y calidad del producto. [32]</p>

Fuente: Adaptado de Roncancio Cardona, K.L. (2016)

En la tabla Nro. 9, se puede inferir que la pirolisis es el método tecnológico de reciclaje químico más eficiente tanto ambiental como económicamente; y a su vez cuenta con un elevado nivel de aplicación en el contexto internacional destacándose en países Australia, España y Alemania. [33]

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos del análisis de la información compilada en esta investigación, se establecieron 7 tipos de materiales plásticos de acuerdo al código internacional de reciclaje implementado en Colombia y su nivel de aplicación en el mercado, los cuales son el Polietileno Tereftalato (1), Polietileno de alta densidad (2), Cloruro de polivinilo (3), Polietileno de baja densidad (4), Polipropileno (5), Poliestireno (6), Acrilonitrilo butadieno estireno (7), Estireno acrilonitrilo (7), Policarbonato (7), Poliacetales (7) y Poliamidas (7).

En la presente investigación se identificaron 43 impactos ambientales asociados a las etapas de extracción de materia prima, producción y disposición final de los materiales plásticos, de los cuales se destacan con mayor importancia la generación de islas de plásticos, la alteración de hábitats marinos, la pérdida de materia prima, la acumulación de sedimentos en cuerpos de agua, la generación de misiones atmosféricas, alteraciones en sistemas de acueducto, alcantarillado y en la salud pública; Permitiendo consigo inferir que el mayor número de impactos se encuentran asociados a la alteración del componente agua; sujetos en gran medida a la etapa de disposición final de estos residuos.

A lo largo de esta investigación se logró copilar cronológicamente 28 normas colombianas concernientes a la gestión integral de residuos sólidos incorporadas desde hace 43 años en (1) Decreto Ley, (5) Leyes, (7) Decretos, (6) resoluciones, (1) política, (1) Norma técnica, (2) Guías técnicas, (2) Documentos CONPES y (3) acuerdos internacionales, los cuales tiene como propósito insertar un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades, definidos por el ente territorial con el fin de velar en pro de la protección del medio ambiente y la reducción de la contaminación causada por los Residuos sólidos.

Según el análisis realizado en esta investigación, se identificaron cuatro distintos métodos tecnológicos de reciclaje químico (pirolisis, metanolisis, gasificación e hidrolisis); los cuales tienen como propósito estimular la preservación de la materia prima y a su vez reducir de manera significativa los impactos ambientales generados en la etapa de disposición final de los materiales plásticos post-consumo

La comparación de las distintas metodologías tecnológicas de reciclaje químico permitió establecer de acuerdo al análisis de la información obtenida durante todo el desarrollo de esta investigación, que la pirolisis se destaca de las otras tecnologías debido a que es la que menor generación de impactos ambientales negativos presenta, todo ello sujeto a que es un sistema cerrado en el que todos los materiales producidos se aprovechan, convirtiendo esta tecnología en un proceso de cero emisión; y a su vez cuenta con un elevado nivel de aplicación en el contexto internacional convirtiéndola en una tecnología comercialmente activa:

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi Familia y a la Universidad Militar La Nueva Granada y todas aquellas personas que día a día me brindaron sus conocimientos y cariño para cumplir con este gran sueño

REFERENCIAS

- [1] Oliva Civera, G. García Nieto, L. (2012). *Plásticos biodegradables*.(Artículo de Especialización en Química Industrial). Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Área de Ingeniería Química, Universidad de Zaragoza
- [2] Association of Plastics Manufacturers, Messe Düsseldorf. (2016). *An Analysis of European Plastics Production, Demand and Wastes data*. Plastics – the Facts 2016, Pag. 12-14.
- [3] Will Rose, Greenpeace. (2016). *Plásticos en los Océanos Datos, Comparativas e Impactos*. Madrid, España: San Bernardo, Pág. 3.
- [4] Montoya Camargo, K. (2016). *Evaluación de la gestión de residuos plásticos en la Ciudad de Manizales*.(Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Manizales.
- [5] Garay Salamanca, C.A. (2012). *Industria Colombiana de plástico mueve USD\$4.000 millones*. En: <http://www.elempaque.com/temas/Industria-colombiana-de-plastico-mueve-USD4000-millones+4089645>.

- [6] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2014). *Informe de Industria*. Bogotá, Colombia: Editorial OEE.
- [7] Internacional. (2016). *Hacia un Mundo que Consume menos Plásticos: ¿Qué pasa con Colombia?* Revista Dinero. Volumen de 1 de Diciembre del 2016.
- [8] Gran Diccionario de la Lengua Española. (2016). *The Free Dictionary*. En: <http://es.thefreedictionary.com/pl%C3%A1stico>
- [9] Naranjo Vasco, J. M. (2010). *Producción de Polihidroxibutirato a partir de residuos Agroindustriales*. (Tesis de Maestría). Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Postgrados, Universidad Nacional Sede Manizales
- [10] Pérez Salazar, S. M. (2000). *Introducción a la Química y el Ambiente*, México D.F, México, Grupo Editorial Patria, Pág. 442
- [11] Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". (2007). *Plásticos Protocolo Curso de Procesos de Manufactura*. Facultad de Ingeniería Industrial, Laboratorio de Producción
- [12] Fernández Muerza, A. (2006). *Bioplásticos*. En: <http://www.eco2site.com/Informe-432-Bioplásticos->
- [13] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Sector Plástico, Principales procesos básicos de transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Bogotá, Colombia.
- [14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Por la cual se reglamenta el uso de cualidades, características o atributos ambientales en la publicidad y promoción de bienes y servicios en el mercado nacional*. Bogotá, Colombia.
- [15] Aguirre Arias, E.L. (2016). *Aporte al análisis sobre el impacto ambiental y el impacto social que genera el reciclaje de tapas plásticas en la fundación SANAR*.(Tesis de Pregrado). Facultad de Ciencias y Educación, Programa de Licenciatura en biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [16] Navas Torres, D.A. Rodríguez, P.A. (2010). *Procesos para la obtención del Petróleo y los Impactos Ambientales generados por actividades petroleras*. Especialización en Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial del Santander.
- [17] Calao Ruiz, J.E. (2007). *Caracterización ambiental de la industria petrolera: Tecnologías Disponibles para la Prevención y Mitigación de Impactos Ambientales*. (Tesis de Pregrado).Facultad de Minas. Programa de Ingeniería Petroleos, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Antioquia
- [18] Grimaldo Valdez, L.H. (2009). *Contaminación ambiental a causa de las refinerías*. Especialización en Educación Ambiental. Universidad Pedagógica Nacional. Madero, Tamaulipas, México
- [19] Asociación Gremial de Industriales del Plástico de Chile. (2010). *Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile*. Santiago de Chile, Chile
- [20] Téllez Maldonado, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto de Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Colombia

- [21] Entidad Técnica Profesional especializada en Plásticos y medio Ambiente.(2011). *Valorización: plásticos post-consumo = nuevos recursos*. Buenos aires, Argentina. En: http://www.ecoplas.org.ar/valorizacion_reciclado_plasticos.php.
- [22] Roncancio Cardona, K.L. (2016). Análisis de alternativas tecnológicas para la valorización y disposición final de residuos plásticos en la ciudad de Manizales.(Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Manizales.
- [23] Klug, M. (2012). *Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa*. (Artículo de investigación). Pontificia Universidad Católica de Perú. *Revista de Química PUCP*. Vol 26, N° 1-2. Lima, Perú. Pág. 37, 38,39 y 40.
- [24] Castells, X.E. (2005). *Tratamiento y Valorización energética de Residuos*. Editorial Díaz de Santo, S.A. Madrid, España
- [25] Al-Salem,S.M. Lettieri, P. Baeyens,J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review. ELSEVIER. Pág. 2625-2643
- [26] Saltos, Z. Andreé, D. Nuñes. A. Washington, R. (2013). *Gasificación Térmica y Catalítica de residuos Sólidos de PET*. (Tesis de Pregrado). Facultad de ciencias basicas, Programa de Química. Universidad Central de Ecuador
- [27] *Junquera Diz, I. (2010). Gasificación de Residuos Plásticos para la Producción de Electricidad en Régimen Especial*. (Tesis de Pregrado).Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería en Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España
- [28] Saltos, Z. Andreé, D. Nuñes. A. Washington, R. (2013). *Gasificación Térmica y Catalítica de residuos Sólidos de PET*. (Tesis de Pregrado). Facultad de ciencias basicas, Programa de Química. Universidad Central de Ecuador
- [29] Chiluiza Llangarí, M.B. Tacle Humanante, C.I. (2013). *Diseño y construcción de un equipo para el lavado ácido o básico de los gránulos del plástico reciclado PET*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias, Programa de ingeniería Química, Escuela superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador
- [30] Tecnología de los Plásticos. (2011). *Reciclaje Químico de PET*. En: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/reciclado-quimico-de-pet.html>
- [31] Centro de edafología y biología aplicada del segura. (2013). *Agrowaste Pirolisis*. Madrid, España.
- [32] Velasco Cancino, A.R. (2011). *Propuesta Conceptual de un Sistema de Gasificación de Residuos Sólidos Urbanos Integrado a un Sistema de Generación de Energía*. (Tesis de Maestría).Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.C, México.
- [33] Genta, M. Yano, F. Kondo, Y. Matsubara, W. Oomoto, S.(2003). *Development of Chemical Recycling Process for PostConsumer PET Bottles by Methanolysis in Supercritical Methanol*. Technical Review Vol.40 Extra No. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.