

**MODELOS MÁS UTILIZADOS DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS, Y ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN MAS UTILIZADAS EN COLOMBIA**

Carlos Hernán Castañeda Ramírez

Milton César Miranda Pérez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela: Escuela de Ciencias Administrativas, contables, Económicas y de Negocios –  
ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

ACACIAS, mayo 2 de 2018

**MODELOS MÁS UTILIZADOS DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE  
PRODUCTOS PLÁSTICOS, Y ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN MAS  
UTILIZADAS EN COLOMBIA**

Carlos Hernán Castañeda Ramírez

Milton César Miranda Pérez

Trabajo de monografía para optar el título de Especialista en Gestión de Proyectos

Director:

Manuel Antonio Moreno Riveros

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela: Escuela de Ciencias Administrativas, contables, Económicas y de Negocios –  
ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

ACACIAS, mayo 2 de 2018

## Tabla de Contenidos

Introducción.....	2
Objetivo General.....	4
Objetivos específicos.....	4
Cuerpo de la monografía.....	5
1. Reciclaje de productos plásticos.....	5
1.1. Reutilización, calificación y reciclaje primario.....	7
1.1.1 Beneficios de la reutilización y las principales técnicas de clasificación.....	7
1.2. Reciclaje primario de PSW.....	10
1.3. Reciclaje Mecánico.....	13
1.3.1. Visión de conjunto.....	13
1.3.2. Instalaciones y tecnologías existentes aplicadas en el reciclaje mecanico.....	17
1.4. Reciclaje químico.....	23
1.4.1. ¿Qué es el reciclaje químico?.....	23
1.4.2. Esquema de termólisis y tecnologías.....	25
1.4.2.1. Pirólisis.....	25
1.4.2.2. Descripción general de plantas de pirólisis y tecnologías avanzadas.....	29
2. Recuperación y reciclaje .....	36
2.1. Recuperación y reciclaje de desechos plásticos en el contexto de Colombia.....	37
2.2. Estrategias para el manejo sostenible de residuos sólidos plásticos (PSW).....	38
2.3. Estrategias tecnológicas.....	38
2.4. Preocupaciones ambientales y estrategias de legislación.....	39
2.5. Estrategias económicas.....	39
2.6. Estrategias sociales.....	40
2.7. Estrategias de mercado.....	40
2.8. Modelo de negocio.....	43
3. Demanda y fuentes de financiamiento.....	48
3.1. Identificación de compañías a nivel nacional.....	49
3.2. Identificación de compañías que fabrican bioplásticos.....	53
3.3. Fuentes de financiación o de recursos.....	56
4. Palabras de los autores.....	61
5. Conclusiones.....	63
6. Recomendaciones.....	65
Referencias bibliográficas.....	66

## Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de los estudios de reciclaje mecánico en relación directa con la utilización de chatarra y materiales recuperados.....	14
Tabla 2. Resumen de pirolisis y estudios de tratamiento químico de atmósfera inerte en plásticos vírgenes / residuales en básculas de banco y piloto.....	28
Tabla 3. Especificaciones de entrada del proceso de craqueo de polímero BP.....	32
Tabla 4. Estrategias para la recuperación y el reciclaje de PSW.....	41
Tabla 5. Identificación de compañías a nivel nacional.....	49
Tabla 6. Empresas que fabrican bioplásticos.....	53
Tabla 7. Fuentes de financiación.....	57

## Lista de figuras

Figura 1. Papeles respectivos de prevención de residuos y gestión integrada de residuos.....	10
Figura 2. Pasos reciclaje mecánico.....	17
Figura 3. Esquema de reenlace de espuma flexible.....	19
Figura 4. Diferentes esquemas de termólisis con referencia a las principales tecnologías.....	26
Figura 5. Proceso de craqueo del polímero de BP .....	32
Figura 6. Proceso de pirólisis de BASF .....	33
Figura 7. Diagrama de proceso NKT .....	34
Figura 8. Propuesta de valor canvas.....	44
Figura 9. Modelo de negocio Canvas. ....	45
Figura 10. Etapas de riesgo en las Start Ups. ....	46
Figura 11. Patrón de iteración. ....	46

## RESUMEN.

Se pretende con este trabajo realizar una identificación de los modelos más comunes de procesamiento de plásticos reciclados, revisando también el panorama actual en Colombia para el reciclaje y reutilización de productos plásticos, también, de estudiar buena parte de la demanda actual en Colombia con potencial de identificar las posibilidades de hacer convenios con entidades gubernamentales y empresas ya constituidas en el sector para establecer los requerimientos que cada uno de ellos tiene estipulado para el apalancamiento de nuevas unidades de operación y las relaciones comerciales; se pretende estudiar los métodos de reciclaje de plásticos y prácticas para su reutilización más comunes no explotadas aún en Colombia, como parte del proceso investigativo se validarán también fuentes de financiamiento para un emprendimiento social.

### PALABRAS CLAVE:

Plástico, Reciclaje, PET, pirolisis, Polímeros, polietileno, compatibilizador, Los Desechos Sólidos Plásticos (PSW)

## ABSTRACT.

This work intends to identify the most regular recycled plastic processing models, validating the current situation in Colombia for the recycling and reuse of plastic products, as well as to study a big part of the demand in the Colombian market with the potential for identifying possibilities of making agreements with government entities and companies already constituted in the sector to establish the requirements that each of them have stipulated for the leverage of new units of operation and commercial relations; it is intended to study the methods of recycling plastics and practices for their reuse not yet exploited in Colombia, as part of the research process, there is a validation of funding sources that could support a social entrepreneurship.

**KEY WORD:** Plastic, Recycling, PET, pyrolysis, Polymers, polyethylene, compatibilizer, Solid Plastic Waste (PSW)

## INTRODUCCIÓN.

Los Desechos Sólidos Plásticos (PSW) presentan desafíos y oportunidades para las sociedades, independientemente de su conciencia de la sostenibilidad y los avances tecnológicos. Se hace hincapié en los residuos generados a partir de fuentes poliolefínicas, que constituyen un gran porcentaje de nuestros productos plásticos diarios de ciclo de vida único. Las cuatro rutas del tratamiento PSW se detallan y discuten sobre los esquemas y tecnologías primarios (re-extrusión), secundarios (mecánicos), terciarios (químicos) y cuaternarios (recuperación de energía). El reciclaje primario, que implica la reintroducción de desechos limpios de un solo polímero en el ciclo de extrusión para hacer productos del mismo material, se aplica comúnmente en la línea de procesamiento, pero rara vez se aplica entre los recicladores, ya que los materiales de reciclaje no es común encontrar esa calidad. Los diversos productos de desecho, que consisten en desechos al final de su vida útil o de producción (chatarra), son la materia prima de técnicas secundarias, por lo tanto, generalmente se reducen en tamaño a formas y formas más deseables, como pellets, copos o polvos, dependiendo de la fuente, forma y uso.

La generación desmesurada de residuos y desechos en el país ha alcanzado niveles que preocupan a las entidades de control ambiental, esta cantidad de desechos en nuestra sociedad de consumo impacta directamente al medio ambiente debido a la necesidad de producir más de estos bienes y efectuar también las medidas más adecuadas de disposición.

Particularmente el plástico, es un residuo que tiene vidas útiles variables, baja, los que perduran entre una semana y 15 días, media los que se tienen un ciclo de vida en un periodo de 6 años o mayor y altas, los residuos que pueden durar más de 50 años.

En Colombia, el número de toneladas de residuos sólidos asciende a 11.7 de los cuales aproximadamente 2 son recicladas y reutilizadas (cartón, papel, chatarra y plástico), lo cual nos

deja casi 8 millones de toneladas que deben ser dispuesta responsablemente por los métodos regulados por los entes gubernamentales, que siendo “ambientalmente responsables”, impactan de manera negativa al medio ambiente; el problema radica en varios aspectos, el primero es el consumo, el consumo de nuestra parte de productos que han sido envasados en materiales plásticos, la cuestión cultural en los hogares colombianos, que en muy pocos de ellos los desechos son separados y clasificados para tener un mejor control de los mismos en su aprovechamiento, soluciones innovadoras económicas, donde podemos encontrar los Bioplásticos o plásticos biodegradables.

Esto nos permite identificar oportunidades no solo en cartón y papel, sino también en el mercado de los plásticos; y también que en Colombia se están desaprovechando materias primas para la construcción de otros elementos o para la extensión de la vida útil de productos elaborados a base de plástico, se tienen algunos productos que al ser transformados nuevamente en otros productos como electrodomésticos y envases plásticos para productos detergentes y al final de su ciclo en combustible (Asoplásticos, 2016).

Hay empresas en Colombia dedicadas al procesamiento y reutilización de productos plásticos (Enka), que reciben auxilios gubernamentales e inversiones para continuar con su labor, debido a que el reciclaje y la reutilización de productos plásticos deja no solo un impacto en la reducción de estos, si no también representa un ahorro en consumo de agua; de esta manera podemos determinar que hay viabilidad respecto a la creación de emprendimientos alrededor de este tema.

### **OBJETIVO GENERAL:**

Identificar los modelos más comunes de reciclaje de plásticos y prácticas para su reutilización utilizados en algunos países y poco explotados en Colombia.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- ❖ Identificar los modelos de reciclaje más utilizados.
- ❖ Comprender la importancia del reciclaje de residuos sólidos, especialmente de los plásticos PET.
- ❖ Describir algunos modelos más utilizados de reciclaje y reutilización de los plásticos PET
- ❖ Identificar las organizaciones más relevantes que están comprometidas en el reciclaje y la reutilización de plásticos PET, en Colombia.
- ❖ Presentar entidades financieras que apoyan las tareas de reciclaje de residuos de plástico PET, en Colombia.
- ❖ Describir posibles estrategias de recuperación y reciclaje de productos desechables de plásticos PET.

## **Cuerpo de la monografía**

### **1. Capítulo 1: Reciclaje de productos plásticos**

#### **Antecedentes**

Partiendo de la propuesta de investigación, se presenta un análisis de los antecedentes, buscando definir una base teórica para la investigación que permita estructurar y fundamentar el planteamiento del problema de investigación.

Los residuos sólidos plásticos (PSW) de polímeros (como: polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), nilón, etc.) crean nuevos desafíos, los cuales llaman mucho la atención para convertirse en líneas de investigación. Se ha detectado un fuerte aumento en la producción de diferentes productos basados en diferentes materiales plásticos, los cuales generan una enorme cantidad de residuos, lo cual abre la puerta a nuevos desafíos.

En el escenario actual, el manejo de los residuos sólidos plásticos (PSW) es motivo de preocupación. Los plásticos se han convertido en una parte crucial del estilo de vida, y la producción mundial ha aumentado enormemente durante los últimos 50 años. Los plásticos tradicionales son muy fuertes y no se degradan fácilmente en el entorno ambiental. Es un hecho que los plásticos nunca se degradarán y permanecerán en el paisaje por varios años. El polímero necesita cientos de años para degradarse en condiciones ambientales normales. Los residuos plásticos son dañinos ya que su pigmento contiene muchos oligoelementos que son altamente tóxicos. Como resultado, los contaminantes ambientales de los plásticos sintéticos han sido identificados como de gran impacto. Los PSW se producen en una escala masiva en todo el mundo (alrededor de 150 millones de toneladas anuales).

### El Tiempo (1994)

“Sin embargo, el consumo de plásticos en Colombia es uno de los más bajos del mundo, e incluso de América Latina. Por sectores, el mayor consumo de plásticos se presenta en la producción de empaques y envases con el 52 por ciento del total nacional. Le siguen la construcción con el 20 por ciento y la agricultura con el 8 por ciento. El resto se destina a productos del hogar y uso personal”.

De acuerdo con esto se debe establecer un desarrollo continuo de tecnologías de reciclaje, la inversión en infraestructura, la creación de mercados viables, la participación de la industria, el gobierno y los consumidores, se consideran prioridades de primer orden.

Un enfoque de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) para las tecnologías de reciclaje, ayudará a identificar las opciones más sostenibles. El 90% de los plásticos utilizados hoy en día se sintetizan utilizando recursos fósiles no renovables. Es fundamental integrar los esquemas de gestión de residuos en el ciclo de producción de plásticos y esquemas de tratamiento de PSW.

### Scheirs (1998)

“El ciclo IWM se puede agrupar en seis categorías, a saber: (i) generación de residuos, (ii) manejo, clasificación y procesamiento de residuos en la fuente, (iii) recolección, (iv) separación y procesamiento, (v) manejo de la estación de transferencia y transporte de residuos, (vi) disposición. Los grupos funcionales son primordiales, ya que nos permiten desarrollar y definir un marco para evaluar los impactos de los cambios propuestos en las funciones de residuos sólidos”.

Si bien el reciclaje se considera una práctica sostenible, lo que implica un Esquema Integrado de Gestión de Residuos (IWM) proporciona un uso más sostenible de la energía y los suministros. Los planes de LCA ayudan en la selección, la aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión adecuados para alcanzar objetivos de gestión de residuos. El objetivo de IWM es controlar la generación de residuos a partir de procesos para satisfacer las necesidades

de una sociedad con un impacto medioambiental mínimo y un uso eficiente de los recursos al activar los potenciales de prevención, reutilización y reciclaje de residuos.

### **1.1. Reutilización, clasificación y reciclaje primario**

*1.1.1. Beneficios de la reutilización y las principales técnicas de clasificación.* En los últimos años, los plásticos multi-viaje se han convertido en una opción más popular que lleva a la reducción de PSW en el flujo final de MSW.

Perdon (2004) . “La reutilización de los plásticos tiene varias ventajas, que se caracterizan por (i) la conservación de combustibles fósiles, ya que la producción de plástico utiliza 4-8% de la producción global de petróleo, es decir, 4% como materia prima y 4% durante la conversión; (ii) Reducción de energía y MSW, y (iii) reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)”.

Los plásticos se usan diariamente en varias aplicaciones. Sin embargo, algunos artículos de plástico terminan en la corriente de desechos después de un solo uso (vida única o ciclo) o poco tiempo después de la compra. La reutilización del plástico es preferible al reciclaje, ya que utiliza menos energía y menos recursos.

EPIC, (2003) plantea el desarrollo una serie de técnicas para separar y clasificar PSW. En la industria del reciclaje, la clasificación e identificación deben intentarse dentro de poco tiempo para afectar positivamente las finanzas de un reciclador. La identificación rápida y precisa del plástico primario contenido en un determinado elemento, seguido de algún tipo de ordenación manual o automatizada son esenciales. En el caso de la clasificación de botellas de plástico, existen técnicas automatizadas que no siempre son aplicables debido principalmente a una diferencia de forma y tamaño, o la existencia de pintura y recubrimiento que retrasa la técnica de análisis, etc. Otra forma de clasificación (común en las líneas de reciclaje de Asia) es el método por densidad. Los métodos de clasificación por densidad no son particularmente útiles, porque la mayoría de los plásticos tienen una baja densidad. Kang (2005), afirma que “en el caso de PSW

rígidos, obtenidos de piezas electrónicas, generalmente se aplica una separación media pesada”. Esto se puede hacer agregando un aditivo al agua o usando tetrabromoetano (TBE). Sin embargo, Veit, Pereira, Bernardes, (2002) aseguran que “este es un proceso costoso y puede conducir a la contaminación del plástico recuperado” (p. 45-47).

Para mejorar la efectividad de la separación por densidad, se usan comúnmente los hidrociclones. Los hidrociclones, que utilizan la fuerza centrífuga, mejoran la humedad del material. Algunos de los factores que afectan la separación de líquidos de un material es su humedad, su variación en densidad (porosidad, rellenos, pigmentos, etc.), factores de forma de partículas de tamaño reducido y su nivel de liberación de otros materiales. Incluso las burbujas de aire de la superficie, que pueden adherirse a los plásticos como resultado de una mala humectación o contaminación de la superficie, pueden hacer que una escama individual de material flote en una solución menos densa que la del material a granel (Xiao, Laurence, Biddle, 1999, p. 45). Una forma práctica de clasificación PSW es por separación utilizando hidrociclones, que puede distinguir entre dos resinas simplemente frotándolas una contra la otra. Un separador triboeléctrico (utilización de hidrociclón) clasifica los materiales sobre la base de un fenómeno de transferencia de carga superficial. Cuando los materiales se frotan entre sí, un material se carga positivamente y el otro se carga negativamente o permanece neutral. Las partículas se mezclan y se ponen en contacto en un tambor giratorio para permitir la carga. Los materiales con un tamaño de partícula de aproximadamente 2-4 mm fueron los más altos en pureza y recuperación en el proceso triboeléctrico.

Kang (2005).Ñ “PSW también se puede ordenar por una técnica de aceleración de partículas, desarrollada por Result Technology AG (Suiza). Esta técnica utiliza un acelerador de alta velocidad para deslaminar desechos triturados, y el material delaminado está separado por clasificación de aire, tamices y electrostática”.

Usando la espectroscopia de rayos X fluorescentes (XRF), se pueden identificar diferentes tipos de retardantes de llama (FR).

Toloken, (1998). “Sobre esta base, MBA Polymers, Inc. ha desarrollado una tecnología que puede separar resina pura con FR. La misma compañía también ha anunciado una empresa conjunta con European Metal Recycling Limited (EMR), para establecer una planta de recuperación de plástico a partir de PSW triturado”.

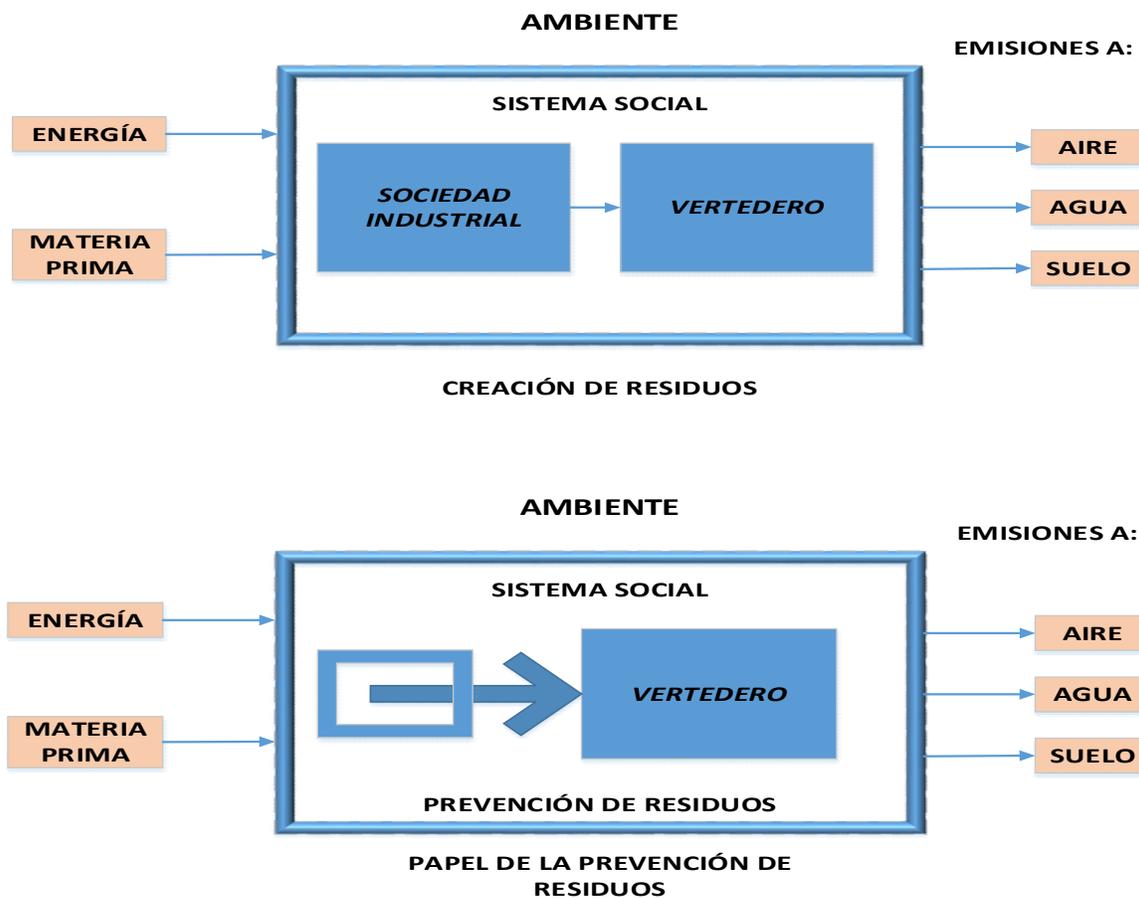
La planta empleará tecnologías de punta que darán como resultado una puesta en servicio de 60,000 toneladas / año en el año 2009.

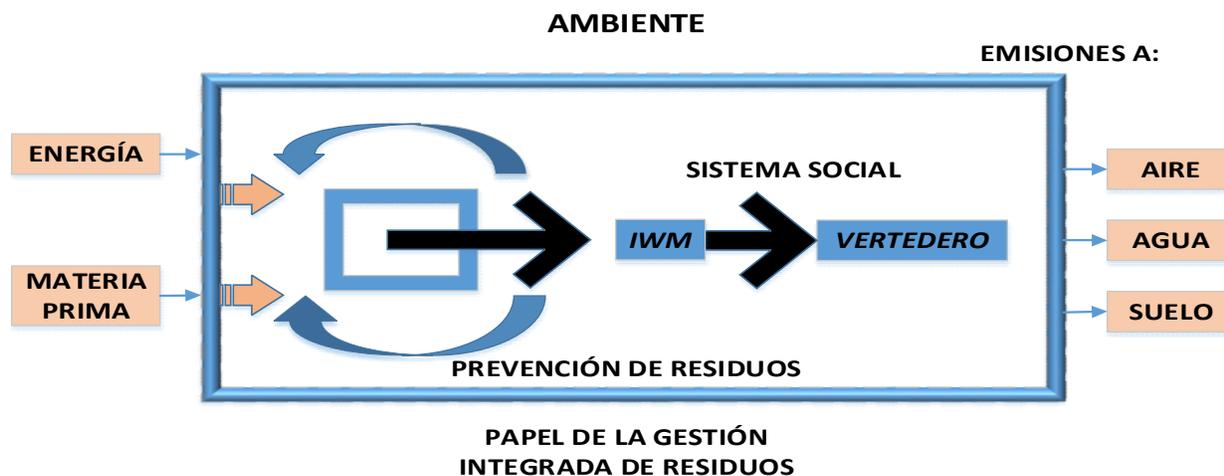
No importa cuán eficiente sea el esquema de reciclaje, la clasificación es el paso más importante en el proceso de reciclaje. Uno de los principales problemas que enfrentan los recicladores es la eliminación de la pintura en los plásticos. Las propiedades de los plásticos reciclados pueden verse comprometidas debido a la concentración de tensión creada por estos materiales de recubrimiento. La molienda podría usarse para eliminar revestimientos. El cromo de los plásticos enchapados se puede eliminar mediante un molido simple, a veces con métodos criogénicos para mejorar el proceso de liberación y evitar que los materiales de recubrimiento se incrustan en los gránulos de plástico. Estos métodos criogénicos proporcionan una buena liberación, pero la separación real de las partículas plásticas de la pintura es problemática. Biddle, (1999) “Otra forma de eliminación de pintura y recubrimiento es la abrasión, mejor aplicada en conjunto de partes de tamaño significativo”. Los recicladores también utilizan la eliminación de solventes, que implica la inmersión del plástico revestido en un solvente, liberando recubrimientos del plástico. Este método es aplicable para la eliminación de recubrimiento de discos compactos.

“El método de eliminación de pintura a base de agua a alta temperatura se basa en la hidrólisis de muchos revestimientos en agua caliente, liberando así el recubrimiento del plástico” (Plastic Technology, 1994, p.96). Los plásticos basados en olefinas se pueden manipular con esta técnica debido a que este tipo de plásticos no se puede degradar en estas condiciones. Sin embargo, ninguna de estas técnicas es completamente satisfactoria y requieren que las condiciones de procesamiento sean cuidadosamente controladas. Además, la degradación

(principalmente fotooxidativa) durante estos procesos disminuye el valor de reventa de estos productos reciclables.

**Figura 1. Papeles respectivos de prevención de residuos y gestión integrada de residuos.**





Fuente. Municipal solid waste management: can thermodynamics influence people's opinions about incineration

Papeles respectivos de prevención de residuos y gestión integrada de residuos. En los estudios de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), se define un 'sistema' (con límites indicados por líneas discontinuas). La energía y las materias primas del "medio ambiente" se utilizan en el sistema. Las emisiones, incluidos los desechos sólidos, abandonan el sistema e ingresan al medio ambiente. La prevención de residuos incluye el papel de la producción más limpia, servicios innovadores, consumo sostenible y prevención por diseño. Fuente: Kirkby y otros (2004).

**1.2. Reciclaje primario de PSW.** “El reciclaje primario, más conocido como reextrusión, es la reintroducción de los bordes y piezas de plástico de chatarra, industriales o de un solo polímero en el ciclo de extrusión con el fin de producir productos del mismo material. Este proceso utiliza plásticos de desecho que tienen características similares a los productos originales” (Al-Salem, 2009, p. 479).

El reciclaje primario solo es factible con chatarra semi-limpia, por lo que es una opción impopular entre los recicladores.

Barlow, (2008) “Un ejemplo válido de reciclaje primario es el moldeo por inyección de cajas de LDPE fuera de especificación”. Las cajas que no cumplen con las especificaciones son paletizadas y reintroducidas en el bucle de reciclaje o en las etapas finales de la fabricación.

Actualmente, la mayor parte del PSW que se recicla es de chatarra de proceso de la industria reciclada a través de técnicas de reciclaje primarias. El reciclaje primario también puede implicar la reextrusión de plásticos postconsumo. En general, los hogares son la principal fuente de dicha corriente de desechos. Sin embargo, el reciclaje de los residuos domésticos representa una serie de desafíos, a saber, la necesidad de una recolección selectiva y segregada. Se requieren sistemas Kerbside para recolectar cantidades relativamente pequeñas de PSW mixto de una gran cantidad de fuentes. Esto supone una pérdida de recursos e implica costos operativos significativos en muchos países, especialmente teniendo en cuenta la situación actual del mercado.

### **1.3. Reciclaje Mecánico.**

*1.3.1 Misión de conjunto.* Mastellone, (1999). “El reciclaje mecánico, también conocido como reciclaje secundario, es el proceso de recuperación de residuos sólidos plásticos (PSW) para la reutilización en la fabricación de productos de plásticos a través de medios mecánicos”. Fue promovido y comercializado en todo el mundo en la década de 1970. El reciclado mecánico de PSW solo puede realizarse en plástico de un solo polímero. Cuanto más complejo y contaminado es el desecho, más difícil es reciclarlo mecánicamente. La separación, el lavado y la preparación de PSW son esenciales para tener productos finales de alta calidad, claros, limpios y homogéneos. Uno de los principales problemas que enfrentan los recicladores mecánicos es la degradación y la heterogeneidad de PSW. Dado que las reacciones químicas que constituyen la formación del polímero (es decir, polimeración, polimerización y policondensación) son todas reversibles en teoría, la energía o el suministro de calor pueden provocar fotooxidación y/o tensiones mecánicas como consecuencia. La longitud o ramificación de las cadenas de polímeros también puede ocurrir a partir de la

formación de compuestos oxidados y/o duras condiciones climáticas naturales.

Debido a las razones indicadas anteriormente, es muy importante tener un cliente listo para comprar el producto para lograr una práctica económica y ambiental sensata.

“El reciclaje mecánico abre una ruta económica y viable para la recuperación de PSW, especialmente para el caso de espumas y plásticos rígidos” (Zia, Bhatti, 2007, p. 675) Varios productos que se encuentran en nuestra vida diaria provienen de procesos mecánicos de reciclaje, como bolsas de abarrotos, tuberías, canales, perfiles de ventanas y puertas, persianas, etc. La calidad es el problema principal cuando se trata de productos mecánicamente reciclados. El PSW industrial generado en la fabricación, procesamiento y distribución de productos plásticos es muy adecuado en uso como materia prima para reciclaje mecánico debido a la clara separación de diferentes tipos de resinas, el bajo nivel de suciedad e impurezas presentes y su disponibilidad en grandes cantidades.

La Tabla 1 resume la literatura reciente en relación directa con el reciclado mecánico PSW, utilizando recuperación y chatarra en los esquemas estudiados en básculas de banco y piloto.

**Tabla 1.** Resumen de los estudios de reciclaje mecánico en relación directa con la utilización de chatarra y materiales recuperados (mezclados con polímeros vírgenes únicos).

Fuente referencial	Principales plásticos de un solo polímero utilizados	Comentarios
Kowalska, E., Wielgosz, Z., Pelka, J., 2002. Use of post life waste and production	PP Residuo LDPE Residuo PVC Películas LDPE Suspensión PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los termoplásticos se mezclaron y extruyeron con cargas (granulado de caucho residual, merlán, fibras de celulosa y aserrín de madera) para</li> </ul>

<p>waste in thermoplastic polymer compositions. Polymers &amp; Composites 10, 83–91.</p>		<p>obtener una composición de mezcla óptima.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La mezcla contenía &lt;50% en peso de LDPE secundario,&gt; 50% en peso de chatarra de caucho conminuta y &lt;0,1% en peso de agente de soplado.</li> <li>• Se lograron 3-4 lt/h de permutación de agua con la mezcla, lo que la convierte en una mezcla satisfactoria.</li> </ul>
<p>Strapasson, R., Amico, S.C., Pereira, M.F.R., Sydenstricker, T.H.D., 2005. Tensile and impact behaviour of polypropylene/low density polyethylene blends. Polymer Testing 24, 468–473.</p>	<p>Mezclas de PP/LDPE (0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0 wt/wt % en peso) mediante moldeo por inyección</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los termoplásticos se mezclaron y extruyeron con cargas (granulado de caucho residual, merlán, fibras de celulosa y harina de madera) para obtener una composición de mezcla óptima</li> </ul>
<p>Lei, Y., Wu, Q., Yao, F., Xu, Y., 2007. Preparation and properties of recycled HDPE/ natural fibre</p>	<p>RHDPE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estudiaron los compuestos basados en RHDPE y fibras naturales, hechos a través de fusión y moldeo por compresión, así como los efectos de las fibras y el agente de acoplamiento</li> </ul>

<p>composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 38, 1664–1674.</p>		<p>(tipo/ concentración) en las propiedades compuestas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de MAPE, CAPE y TDM mejoró la compatibilidad entre la fibra y el RHDPE, y las propiedades mecánicas de los compuestos resultantes se compararon bien con las de los compuestos de HDPE virgen.</li> </ul>
<p>Meran, C., Ozturk, O., Yuksel, M., 2008. Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene. Materials &amp; Design 29, 701–705.</p>	<p>LDPE, HDPE y PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La relación de resistencia a la tracción se controló en PP ya que la pérdida de propiedades mecánicas y físicas no excedió el 50% en las películas estudiadas</li> </ul>
<p>Brachet, P., Hoydal, L.T., Hinrichsen, E.L., Melum, F., 2008. Modification of mechanical properties of recycled polypropylene from post-</p>	<p>PP</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estudió la modificación de las propiedades mecánicas del PP reciclado de envases postconsumo con la adición de estabilizantes, elastómeros (EOR) y carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>.</li> <li>• Los resultados mostraron cambios limitados con la adición de elastómero y carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub> en las propiedades mecánicas de los PP reciclados</li> </ul>

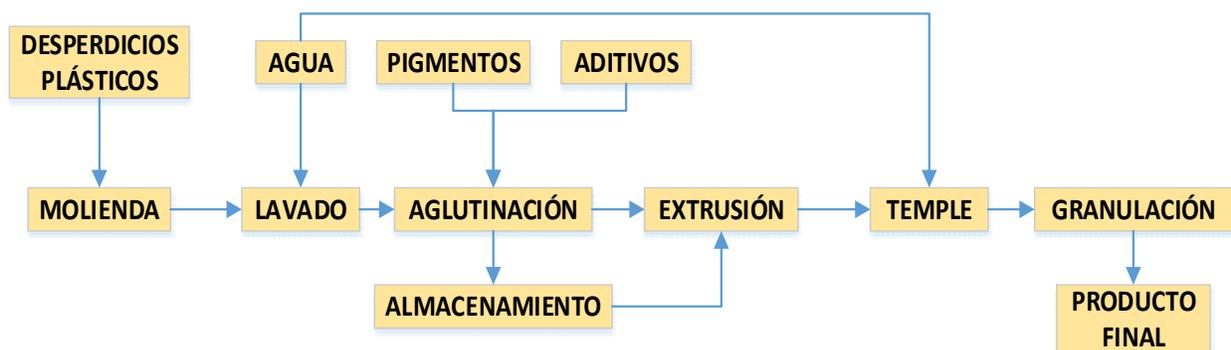
consumer containers. Waste Management 28 (12), 2456–2464.		
--	--	--

Fuente: Los autores

1.3.2 *Instalaciones y tecnologías existentes aplicadas en el reciclaje mecánico.* Reciclar PSW por medios mecánicos implica una serie de tratamientos y pasos de preparación a considerar. Siendo un proceso costoso y de alta energía, los recicladores mecánicos intentan reducir estos pasos y horas de trabajo tanto como sea posible. En general, el primer paso en el reciclado mecánico implica la reducción de tamaño del plástico a una forma más adecuada (pellets, polvo o escamas). Esto generalmente se logra moler, triturar o pulverizar (Zia, Bhatti, 2007, p. 675).

El esquema más general fue descrito por Aznar et al. (2006) y se ilustra en la Fig. 2.

**Figura 2.** Pasos reciclaje mecánico



**Fuente.** Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant

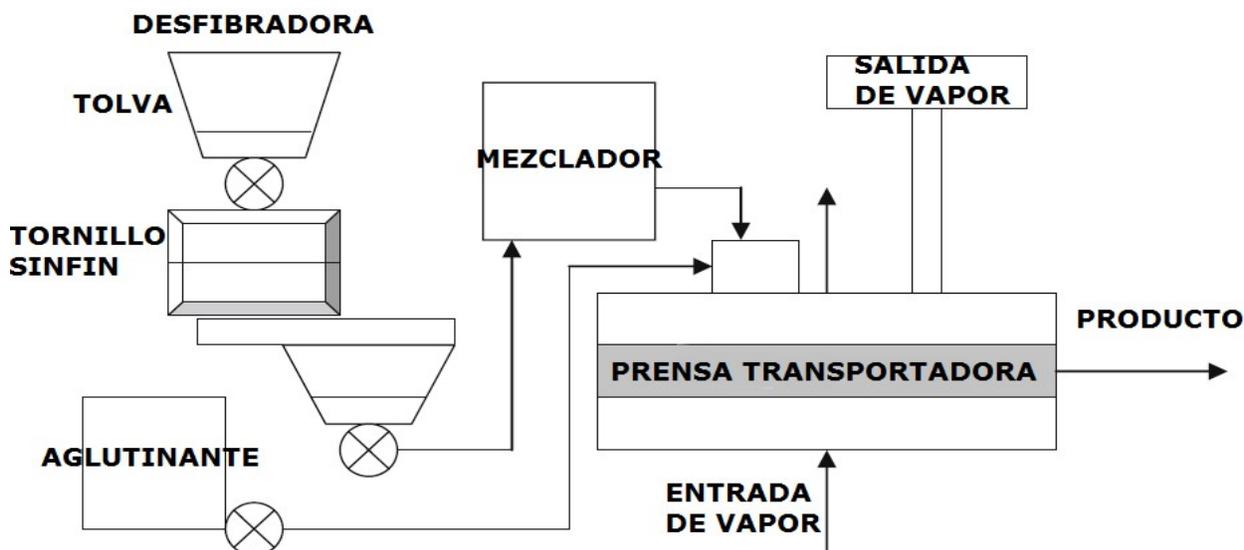
Los pasos involucrados suelen ser los siguientes:

- *Corte / trituración:* Las piezas de plástico grandes se cortan con cizalla o sierra para su posterior procesamiento en pequeños copos.
- *Separación de contaminantes:* el papel, el polvo y otras formas de impurezas se separan del plástico generalmente en un ciclón.
- *Flotante:* Diferentes tipos de escamas de plástico se separan en un tanque flotante de acuerdo a su densidad.
- *Molienda:* Plásticos separados, de un solo polímero se muelen juntos. Esta etapa generalmente se toma como un primer paso con muchos recicladores de todo el mundo.
- *Lavado y secado:* este paso se refiere a la etapa de prelavado (comienzo de la línea de lavado). El proceso real de lavado de plástico ocurre después si se requiere un tratamiento adicional. Ambas etapas de lavado se ejecutan con agua. El lavado químico también se emplea en ciertos casos (principalmente para la eliminación del pegamento del plástico), donde se usan soda cáustica y surfactantes.
- *Aglutinación:* el producto se recolecta para ser almacenado y vendido luego de la adición de pigmentos y aditivos, o para su posterior procesamiento.
- *Extrusión:* el plástico se extruye en hebras y luego se granula para producir un plástico de un solo polímero.
- *Temple:* implica enfriar con agua el plástico para granularlo y venderlo como producto final.

Otros PSW de un solo polímero pasan por diferentes esquemas. Muchas espumas (es decir, poliuretano, PU) se pulverizan y trituran a un tamaño de partícula inferior a 0,2 mm utilizando molinos de dos rodillos, molinos criogénicos o cuchillas de precisión. Otro proceso utilizado en el reciclado mecánico es el reaglutinado, en el que las escamas de espuma recicladas que se originan de los desperdicios de producción de espuma de planchón flexible generalmente se expulsan de los silos de almacenamiento a una mezcladora que consiste en un tambor fijo con cuchillas giratorias o agitadores, donde los copos de espuma son rociados con una mezcla

adhesiva. La Fig. 3 muestra una ilustración esquemática del proceso de re-unión. Una de las principales ventajas de este proceso es la capacidad de obtener un producto limpio con nuevas propiedades, es decir, mayor densidad y menor dureza.

**Figura 3.** Esquema de reenlace de espuma flexible.



Fuente: Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review

En el caso de PU, se agrega un 10% de aglutinante al 90% de chatarra. Los desechos se trituran y se mezclan con aglutinante (también se pueden agregar tintes) y la mezcla se comprime. Los gránulos de PU reciclados se utilizan como relleno en compuestos de moldeo de poliéster y proporcionan una dureza adicional al material. Este proceso produce una variedad de productos tales como alfombras de piso y alfombras atléticas de piezas recuperadas de espumas flexibles. El proceso de volver a unir incorpora una sorprendente cantidad de flexibilidad y una amplia variabilidad en las propiedades mecánicas del producto final. El PVC representa un caso interesante también, en términos de reciclaje mecánico.

Recovinyl, (2008). “Debido a su estructura y composición, el PVC puede reciclarse fácilmente por el método mecánico para obtener material de reciclaje de buena calidad. La clasificación cuidadosa y adecuada es de importancia crucial para el reciclaje óptimo de PVC. Después de una comprobación visual inicial, los materiales de PVC recogidos se trituran en pedazos de  $\pm 10$ -15 cm. Los metales y los metales no ferrosos se eliminan mecánicamente”.

La compañía clasifica los plásticos post-consumo en materiales rígidos y flexibles. El material reciclado de PVC rígido se utiliza principalmente como una capa interna de refuerzo en la producción de tubos y perfiles, muebles de jardín o fabricación de películas rígidas. Los residuos de PVC flexible se reciclan en polvo y se utilizan como material de relleno en la producción de revestimientos para suelos de diversos tipos. Otras aplicaciones son conos de tráfico, vallas, mangueras y tubos flexibles, calzado, bolsos, ropa, etc.

Un ejemplo válido de utilización de PSW es el reciclaje de PET. Aproximadamente tres cuartos del PET recuperado en el Reino Unido y los Estados Unidos se utilizan para fabricar fibras para alfombras, indumentaria y botellas. Se han promovido ampliamente dos enfoques, el reciclaje mecánico y la metanolisis (reciclaje químico). Una vez que el PET ha sido recolectado y clasificado, representa una materia prima para líneas de procesamiento de recuperación. La recuperación implica lavar los materiales (principalmente botellas) y acondicionar los plásticos para procesarlos como resina semi-virgen o lote maestro. Al hacerlo, se puede producir un grado de PET claro de alta calidad para competir con el polímero virgen.

Council PET, (2005). “Esta técnica se practica ampliamente en la UE y EE. UU. En Tokio (Japón), se estableció un consejo para el reciclaje de botellas de PET desde 1993 para promover el reciclado mecánico de botellas de PET en los municipios de Tokio”. Las botellas de PET obtenidas por clasificación doméstica son recolectadas, comprimidas y empacadas por los municipios para su transporte a plantas de reciclaje operadas por industrias de reciclaje. En la

planta de reciclaje, los residuos son clasificados para eliminar las impurezas y las botellas PET restantes se trituran, se limpian, los cuerpos extraños y las no resinas se separan, y el resto se convierte en escamas y gránulos (gránulos hechos de escamas procesadas térmicamente por granulador) para reciclaje.

Council PET, (2005) “Los materiales reciclados se envían a plantas textiles y de fabricación de láminas, donde se vuelven a fundir para producir productos textiles y láminas mediante técnicas de moldeo de resina establecidas para la conversión de PET y otros plásticos”. Estas técnicas se pueden resumir de la siguiente manera:

- *Moldeo por extrusión:* la resina o escamas de PSW se funden y extruyen a través de un molde mediante tornillos simples o gemelos para formar un producto moldeado. Los productos de este proceso incluyen tuberías, láminas, películas y revestimiento de cables.
- *Moldeo por inyección:* la resina fundida caliente se inyecta en un molde para solidificar y formar el producto deseado. Los productos fabricados de esta manera van desde lavabos, cubetas y modelos de plástico hasta productos más grandes como paragolpes y paletas.
- *Moldeo por soplado:* una fundición de plástico hueco obtenido por extrusión o moldeo por inyección se sujeta en un molde, y se infla con aire para hacer botellas para todo tipo de usos, tales como botellas de champú. Las botellas de PET se fabrican mediante moldeo por soplado y estirado para que no se rompan.
- *Moldeo por vacío:* una hoja ablandada por calor se intercala en un molde, y el espacio entre la lámina y el molde se sella y se evacua para formar productos tales como tazas y bandejas.
- *Moldeado por inflado:* moldeo por extrusión donde una resina fundida se infla en un cilindro para formar una película. Este método se usa para fabricar productos tales como bolsas de compras.

“Otra compañía que se ocupa de PSW es Nexcycle Plastics Inc. (NPI, Canadá), que comercializa una serie de productos reciclados hechos de chatarra de poliolefinas. NPI trata con LDPE, LLDPE, MDPE, HDPE y PP”. (Nexcycle Plastics Inc. (NPI), 2009. La chatarra que se está tratando se transforma mecánicamente en pacas, rollos, PSW reprimidos y trozos. La compañía también se ocupa de una variedad de chatarra de colores, incluyendo PSW clara, blanca, negra, mixta e impresa. Alternativamente, muchas empresas se ocupan de chatarra negra y / o transparente para líneas de procesamiento de reciclaje mecánico, ahorrándose por ese costo de clasificación. Este es el caso de Metals and Recycling Co. (MRC, Kuwait); que cubre casi exclusivamente los mercados del CCG, el lejano y el sudeste asiático. La empresa procesa varios tipos de chatarra plástica como PP, PE, PVC, PPC, ABS, etc. “La producción de PE y PP de la planta se entrega principalmente como pellets limpios y uniformes (gránulos extruidos de 3 X 3 mm), mientras que otros materiales de desecho se procesan como escamas”. Metals and Recycling Company (MRC), 2009.

#### **1.4. Reciclaje químico**

*1.4.1. ¿Qué es el reciclaje químico?* “Reciclaje químico es un término utilizado para referirse a procesos tecnológicos avanzados que convierten los materiales plásticos en moléculas más pequeñas, generalmente líquidos o gases, adecuados para usar como materia prima para la producción de nuevos productos petroquímicos y plásticos” (Lei, Wu, Yao, Xu, 2007, p. 1664). El término químico se usa, debido al hecho de que se debe producir una alteración de la estructura química del polímero. Los productos de reciclaje químico han demostrado ser útiles como combustible. La tecnología detrás de su éxito son los procesos de despolimerización que pueden resultar en un esquema industrial muy rentable y sostenible, proporcionando un alto rendimiento del producto y un mínimo de desperdicio. En la categoría de reciclado químico, el proceso avanzado (similar a los empleados en la industria petroquímica) aparece, p. pirólisis, gasificación, hidrogenación de gas líquido, ruptura de viscosidad, vapor o craqueo catalítico y el uso de PSW como agente reductor en altos hornos.

El término químico se usa, debido al hecho de que se debe producir una alteración de la estructura química del polímero. Los productos de reciclaje químico han demostrado ser útiles

como combustible. La tecnología detrás de su éxito son los procesos de despolimerización que pueden resultar en un esquema industrial muy rentable y sostenible, proporcionando un alto rendimiento del producto y un mínimo de desperdicio. En la categoría de reciclado químico, el proceso avanzado (similar a los empleados en la industria petroquímica) aparece, p. pirólisis, gasificación, hidrogenación de gas líquido, ruptura de viscosidad, vapor o craqueo catalítico y el uso de PSW como agente reductor en altos hornos.

Recientemente, se ha prestado mucha atención al reciclaje químico (principalmente craqueo térmico no catalítico (termólisis), craqueo catalítico y degradación del vapor) como método para producir diversas fracciones de combustible a partir de PSW. Por su naturaleza, una cantidad de polímeros son ventajosos para dicho tratamiento. El poli (tereftalato de etileno) (PET) y ciertas poliamidas (nylon 6 (PA 6) y nylon 66) se pueden despolimerizar de manera eficiente. En particular, el polietileno (PE) ha sido seleccionado como una materia prima potencial para las tecnologías de producción de combustible (gasolina) estudiaron el comportamiento de craqueo térmico del HDPE. Se informó que la PE se convierte térmicamente en gases, líquidos, ceras, aromáticos y carbonilla a través de cinco reacciones primarias y dos reacciones secundarias para formar cinco productos agrupados.

Horvat, (1996). “También existe un interés en desarrollar productos de valor agregado como lubricantes sintéticos a través de degradación térmica de PE. El desarrollo de tecnologías de reciclaje de valor agregado es muy deseable porque aumentaría el incentivo económico para reciclar polímeros. Actualmente se usan varios métodos para el reciclado químico, como el tratamiento químico directo con gasificación, “fundición por alto horno u horno de coque y degradación por licuefacción. Asanuma, Ariyama, (2004) “Los polímeros de condensación como tereftalato de polietileno (PET) y nylon experimentan degradación para producir unidades monoméricas, materia prima o reciclado de monómeros, mientras que los polímeros vinílicos tales como poliolefinas producen una mezcla que contiene componentes para usar como combustible”. Actualmente se están investigando diversos métodos de degradación para obtener

petroquímicos, y se están investigando extensamente las condiciones adecuadas para la pirólisis y la gasificación. Aguado, Serrano, Miguel, Escola, Rodriguez, (2007). “El craqueo catalítico y la reformación facilitan la degradación selectiva de plásticos residuales”. Se ha informado sobre el uso de catalizadores sólidos tales como silicualumina, ZSM-5, zeolitas y materiales mesoporosos para estos fines. Estos materiales convierten efectivamente las poliolefinas en combustible líquido, dando fracciones más ligeras en comparación con el craqueo térmico.

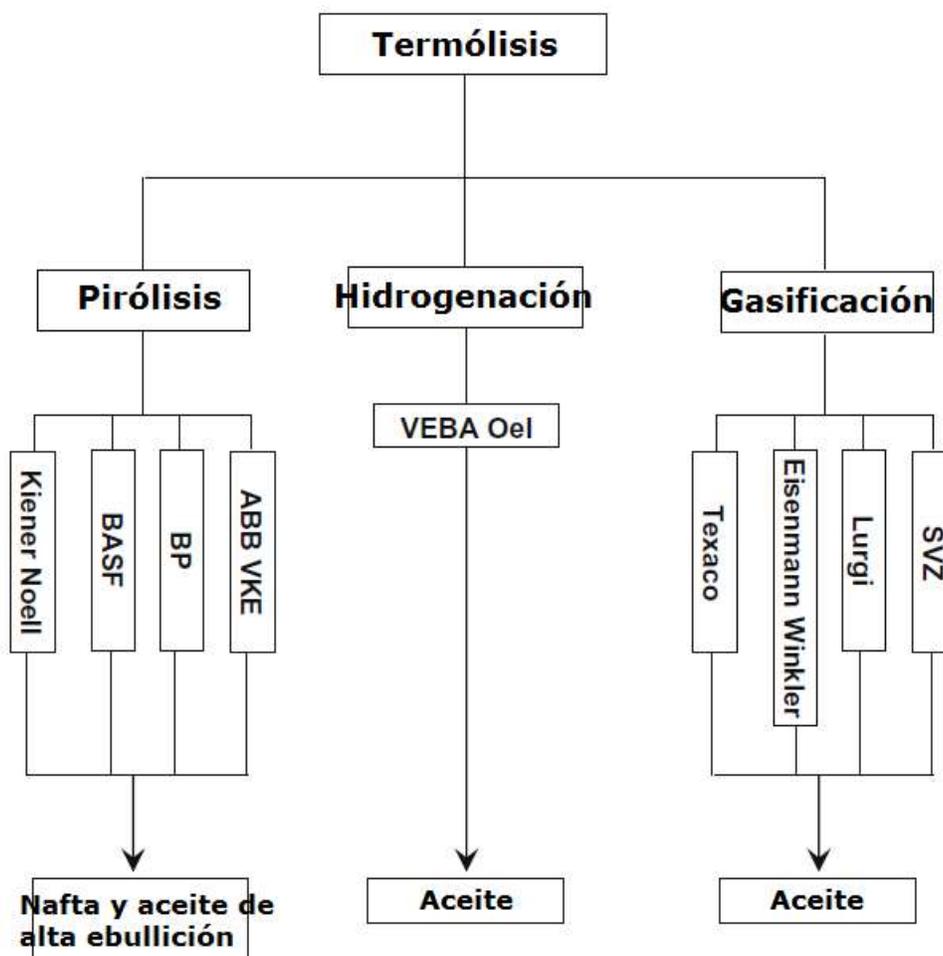
Scheirs, 1998, La principal ventaja del reciclaje químico es la posibilidad de tratar polímeros heterogéneos y contaminados con un uso limitado de pretratamiento. Si un reciclador está considerando un plan de reciclaje con una meta del 40% o más, uno debe lidiar con materiales que son muy caros de separar y tratar. (p. 34)

Por lo tanto, el reciclaje químico se convierte en una solución viable. Las plantas petroquímicas son mucho más grandes en tamaño (6-10 veces) que las plantas de fabricación de plástico. Es esencial utilizar plantas petroquímicas para complementar su materia prima habitual mediante el uso de materia prima derivada de PSW.

#### *1.4.2. Esquemas de termólisis y tecnologías*

*1.4.2.1. Pirólisis (craqueo térmico de polímeros en atmósferas inertes)* La termólisis es el tratamiento de PSW en presencia de calor a temperaturas controladas sin catalizadores. Mastral, Berrueco, Ceamanos, (2007). “Los procesos de termólisis pueden dividirse en termoquímicos avanzados o pirólisis (craqueo térmico en una atmósfera inerte), gasificación (en la presencia subestequiométrica del aire que generalmente conduce a la producción de CO y CO<sub>2</sub>) e hidrogenación”. La Fig. 4 muestra diferentes esquemas de termólisis, tecnologías principales actuales y sus principales productos obtenidos, como lo describe Mastellone (1999).

**Figura 4.** Diferentes esquemas de termólisis con referencia a las principales tecnologías.



Fuente: Thermal treatments of plastic wastes by means of fluidized bed reactors.

Los procesos de degradación térmica permiten obtener una cantidad de moléculas constituyentes, gases combustibles y / o energía, con la reducción del vertido como una ventaja adicional. El proceso de pirólisis es una tecnología de conversión avanzada que tiene la capacidad de producir un gas limpio, de alto poder calorífico a partir de una amplia variedad de

flujos de residuos y biomasa. El contenido de hidrocarburo de los desechos se convierte en un gas, que es adecuado para su utilización en motores de gas, con generación de electricidad asociada, o en aplicaciones de calderas sin la necesidad de tratamiento de gases de combustión. Este proceso es capaz de tratar muchos desechos sólidos basados en hidrocarburos diferentes a la vez que produce un gas combustible limpio con un alto poder calorífico. Este gas típicamente tendrá un poder calorífico de 22-30 MJ / m<sup>3</sup> dependiendo del material de desecho que se procesa. El valor calorífico más bajo se asocia con los residuos de biomasa, y el mayor poder calorífico se asocia con otros desechos como los lodos cloacales. Los gases se pueden producir con valores caloríficos más altos cuando los desechos contienen cantidades significativas de materiales sintéticos como el caucho y los plásticos. El carbón sólido también se produce a partir del proceso, que contiene tanto carbono como el contenido mineral del material de alimentación original. El carbón puede procesarse adicionalmente en el sitio para liberar el contenido de energía del carbono o utilizarse fuera del sitio en otros procesos térmicos.

La pirolisis proporciona otras ventajas, tales como (i) ventajas operativas, (ii) ventajas medioambientales y (iii) beneficios financieros. Las ventajas operativas podrían describirse mediante la utilización de la producción residual de carbón usado como combustible o como materia prima para otros procesos petroquímicos. Un beneficio operacional adicional es que la pirolisis no requiere la limpieza de los gases de combustión ya que los gases de combustión producidos se tratan principalmente antes de la utilización. Ambientalmente, la pirolisis proporciona una solución alternativa al vertido y reduce los gases de efecto invernadero (GEI) y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Financieramente, la pirolisis produce un combustible de alto poder calorífico que podría ser fácilmente comercializado y utilizado en motores de gas para producir electricidad y calor. “Existen varios obstáculos y desventajas para la pirolisis, principalmente el manejo del carbón producido y el tratamiento del combustible final producido si se desean productos específicos” (Ciliz, Ekinci, Snape, 2004, p. 177). Además, no hay una comprensión suficiente de las vías de reacción subyacentes, lo que ha impedido una predicción cuantitativa de la distribución completa del producto.

La pirolisis ha sido investigada como una ruta viable de reciclaje por un número de investigadores para el caso del tratamiento PSW u otros desechos, incluida la biomasa y cauchos. La topografía de la literatura revela una serie de estudios sobre polímeros y pirólisis de PSW, resumidos en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resumen de pirolisis y estudios de tratamiento químico de atmósfera inerte en plásticos vírgenes / residuales en básculas de banco y piloto.

Fuente referencial	Resumen
Kaminsky, W., Schlesselmann, B., Simon, C., 1995. Olefins from polyolefins and mixed plastics by pyrolysis. <i>Journal of Analytical and Applied Pyrolysis</i> 32, 19–27.	Un estudio de pirolisis en un lecho fluido que mostró muy buena transferencia de calor y material. La configuración utilizada permitió tiempos de residencia más cortos a temperaturas operativas moderadas
McCaffrey, W.C., Brues, M.J., Cooper, D.G., Kamal, M.R., 1996. Thermolysis of polyethylene/polystyrene mixtures. <i>Journal of Applied Polymer Science</i> 60 (12), 2133–2140.	Investigación de la degradación de mezclas de PE y PS en procesos de co-pirolisis
Wong, H.W., Broadbelt, L.J., 2001. Tertiary resource recovery from waste polymers via pyrolysis: neat and binary mixture reactions of polypropylene and polystyrene. <i>Industrial and Engineering Chemistry Research</i> 40 (22), 4716–4723.	Se estudiaron las interacciones de diferentes polímeros durante la pirolisis utilizando una combinación de experimentos y modelos mecánicos para desarrollar una comprensión cuantitativa de los efectos sinérgicos presentes durante el procesamiento.
Horvat, N., Ng, F.T.T., 2005. Tertiary polymer recycling: study of polyethylene	Serie preliminar de experimentos para investigar las interacciones de polímero a

<p>thermolysis as a first step to synthetic diesel fuel. Fuel 78 (4), 459–470.</p>	<p>partículas dentro de un pirolizador y los efectos de las principales variables de operación sobre el rendimiento y la composición de los productos de la pirolisis fluidizada de un grado de PE reciclado. En el rango por debajo de 650 ° C, la cantidad de BTX y otros compuestos aromáticos era apenas apreciable</p>
<p>Malkow, T., 2004. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. Waste Management 24 (1), 53–79.</p>	<p>Pirolisis novedosa en dos etapas de artículos de PE desperdiciados. El PE se calienta en el primer paso, bajo atmósfera de N<sub>2</sub>, a un rango de 400-450 °C para producir aceite de PE, y luego desarrolla los aspectos fundamentales del aceite que se hidrogenó a 30-90 °C para producir un combustible líquido de tipo diésel.</p>

Fuente: Elaboración propia

*1.4.2.2. Descripción general de plantas de pirólisis y tecnologías avanzadas.* Un enfoque de ingeniería para mejorar la eficiencia general de la incineración de residuos es separar la pirolisis de los procesos de combustión y agotamiento reales de los desechos. En los esquemas de escala industrial, la separación externa requiere reactores de pirolisis mientras se encienden productos (por ejemplo, carbón, ceras, etc.). Una de las principales tecnologías incorporadas por una serie de plantas en Austria, Alemania, Corea, Italia y Suiza, es el proceso PYROPLEQ. Esta tecnología (dominante en el período comprendido entre 1978 y 1996) se basa en la pirólisis a 450-500 °C en un tambor rotativo calentado externamente y la combustión de gas a 1200 °C. La alimentación típica del proceso es PSW (mezclas post-consumo), aunque el proceso se demostró exitoso para otros flujos de MSW.

Tukker, Simons, Wiegersma, 1999. Un proceso diferente que ha demostrado ser exitoso para PSW, rico en PVC, es el proceso Akzo (Países Bajos) Con una capacidad de 30 kg/h, este proceso rápido de pirolisis se basa en un sistema de lecho fluidizado circulante (dos reactores) con combustión posterior. La entrada al proceso se compone de desechos mixtos, incluido un alto porcentaje de residuos de PVC. (p. 55).

Las principales salidas consisten en HCl, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y, dependiendo de la composición de materia prima, otros hidrocarburos y cenizas volantes. La tecnología El ConTherm trata MSW y residuos de trituradoras automotrices (ASR) y hasta 50% PSW a 500-550 °C en hornos rotativos de 100 kt / año suministrados por TECHNIP y quema el gas directamente en una caldera de carbón pulverizado (PC)

Los residuos del proceso se seleccionan y clasifican para recuperar materiales, principalmente metales. El proceso NRC es otro esquema exitoso de pirolisis. Este proceso cuenta con la tecnología de extracción de metal posterior. El objetivo es producir cloruro de calcio purificado en lugar de HCl. La entrada al proceso es residuos de PVC (cables, pisos, perfiles, etc.). No se suministra ningún otro tipo de PSW al procesamiento, lo que da como resultado el cloruro de calcio, el coque, el condensado orgánico (para uso como combustibles) y los metales pesados para el reciclaje de metales, como productos. La pirolisis de PKA es otro tipo de tecnología de proceso, descrita previamente por PKA (2002) y Malkow (2004). La tecnología comprende un concepto modular de pirolisis y gasificación a altas temperaturas. El proceso comienza con una etapa de preprocesamiento que incluye la separación, el cribado y la trituración de diferentes tipos de desechos, como MSW, ASR, ELT, desechos industriales y plásticos, así como el suelo contaminado.

La pirolisis tiene lugar a 500-550 °C durante aproximadamente 45-60 minutos en un horno rotatorio calentado externamente. El rendimiento es un gas combustible rico en CO/H<sub>2</sub>

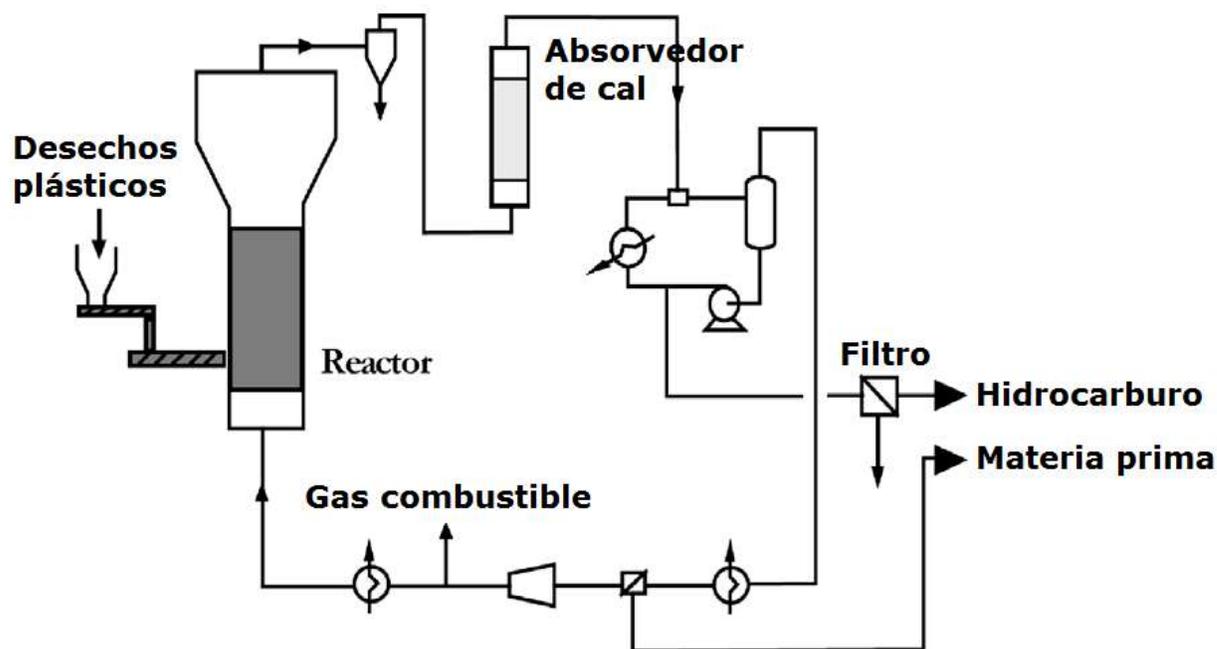
despolvoreado y homogeneizado. Los minerales y metales que contienen carbón están condicionados por la separación de metales ferrosos y no ferrosos, humedad reducida a <10% y molido a <2 mm antes de ser utilizados como combustible, sorbente (es decir, carbón activado) o materia prima en la producción de ladrillos. El proceso PyroMelt (desarrollado por ML Entsorgung und Energieanlagen GmbH) combina la pirolisis y la combustión por escorificación produciendo una escoria granulada reciclable resistente a la elución. La alimentación del proceso consiste en MSW, residuos peligrosos, ASR y residuos de plástico postconsumo. La pirolisis tiene lugar antes del proceso de combustión y el gas resultante se somete a múltiples etapas de lavado utilizando aceite de pirolisis.

Uno de los procesos de pirolisis más importantes es el proceso de craqueo del polímero BP. Después de una serie de pruebas piloto (entre 1994 y 1998), se estableció una planta en Escocia con una capacidad de 25,000 toneladas/año. La Fig. 6 muestra un esquema del proceso de craqueo de polímero BP. Se requiere una reducción de tamaño para la alimentación, que luego se alimenta a un reactor de lecho fluidizado calentado (que funciona a 500 °C) en ausencia de aire. Las especificaciones de entrada para el proceso se muestran en la Tabla 3.

ECVM, 1997. Los plásticos se agrietan térmicamente en estas condiciones a hidrocarburos que se vaporizan y salen del lecho con el gas fluidizante. La descomposición de PSW conduce a la formación de HCl (de PVC), que se neutraliza al poner en contacto el gas caliente con un sólido absorbente de cal (p. 47).

El 8% en peso del plástico que ingresa al proceso se transmite como líquido de hidrocarburo, y el 15% restante es gas a temperatura ambiente.

**Figura 5.** Proceso de craqueo del polímero de BP



**Fuente.** Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins

**Tabla 3.** Especificaciones de entrada del proceso de craqueo de polímero BP.

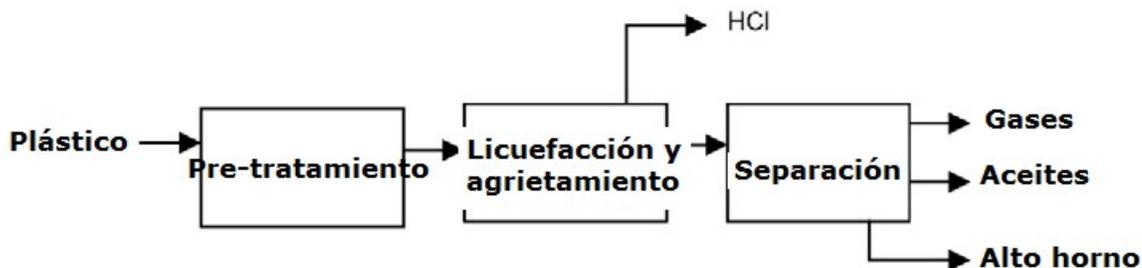
MATERIAL	UNIDAD	NORMAL	LIMITE MÁXIMO
Poliolefinas	% Peso	80	70 MÁXIMO
PS	% Peso	15	30 MÁXIMO
PET	% Peso	3	5 MÁXIMO
PVC	% Peso	2	4 MÁXIMO
CONTENIDO TOTAL DE PLÁSTICO	% Peso	92	90 MÍNIMO
CENIZAS	% Peso	2	5 MÁXIMO
HUMEDAD	% Peso	0.5	1 MÁXIMO

PIEZAS METÁLICAS	% Peso	-	1 MÁXIMO
TAMAÑO	mm	1-20	
DENSIDAD GRANEL	Kg m <sup>-3</sup>	400	300

Fuente: Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins

Una de las principales tecnologías de pirólisis que se haya encargado es el proceso de BASF (Fig. 7). El proceso comenzó con una capacidad de planta piloto de 15,000 toneladas/año (Ludwigshafen, Alemania) en 1994. Heyde, Kremer, (1999). “Como es el caso con muchos esquemas termoquímicos de reciclaje, el proceso comienza con un paso de pretratamiento. El PSW mezclado se tritura y se separa de metales y materiales aglomerados”. La conversión del PSW en petroquímicos valiosos tiene lugar en un proceso de fusión y reducción de múltiples etapas. El cloruro de hidrógeno separado en este proceso se absorbe y procesa en la planta de producción de ácido clorhídrico. Por lo tanto, la mayor parte del cloro presente en la entrada (por ejemplo, de PVC) se convierte en HCl comercializable. Cantidades menores vienen disponibles como efluente de NaCl o CaCl<sub>2</sub>.

**Figura 6.** Proceso de pirólisis de BASF

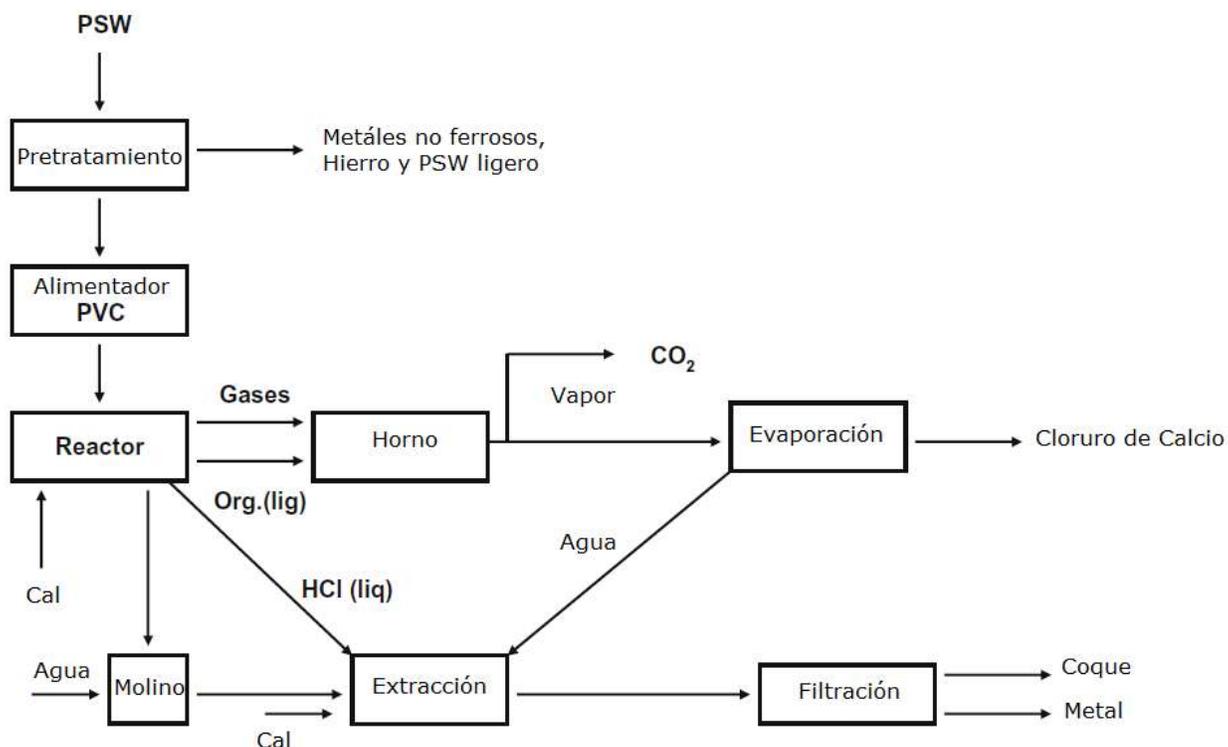


Fuente: LCA Packaging Plastics Waste

Una tecnología alternativa que ha demostrado ser muy exitosa para el tratamiento de PSW (especialmente en el caso del desecho de cables de PVC) es el proceso NKT (Fig. 8). El

proceso se basa en un paso de pretratamiento inicial que implica la separación de plásticos ligeros (PP, PE, etc.) y otros materiales como madera, arena, hierro, acero, latón, cobre y otros contaminantes metálicos. El residuo de PSW se alimenta entonces a un reactor a baja presión (2-3 bares) y a una temperatura moderada (375°C). El proceso no emite ni dioxinas, cloro, metales ni plastificantes. Además, no hay corrientes de desechos líquidos en el proceso, ya que todas las corrientes se reciclan dentro del sistema. Hay un pequeño volumen de gas dióxido de carbono formado por la reacción entre la cal/piedra caliza y el cloruro de hidrógeno. Los residuos de construcción mixtos de PVC que contienen metales, arena, tierra, PE, PP, madera y residuos de caucho han sido tratados con éxito. Otros procesos de pirolisis (a menor escala) también están disponibles y están en funcionamiento. La Tabla 4 resume estos procesos y su estado actual.

**Figura 7.** Diagrama de proceso NKT



**Fuente.** Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins

Tukker, de Groot, Simons, Wiegersma, (1999) “El más aplicado dentro de este grupo de procesos es el proceso Noell, por su capacidad de convertir el 25% de la materia prima en petróleo. El proceso opera un reactor de horno rotatorio para una densidad de entrada de 250 kg m<sup>-3</sup>”. También vale la pena mencionar que el proceso de pirólisis está ganando rápidamente importancia para la materia prima de poliolefina y las espumas de PU, informaron la pirólisis de PU resultante de asientos de automóviles y otros productos finales. También se sugirió un reactor de pirólisis de dos zonas para el procesamiento de carbón PU.

## ***2. RECUPERACIÓN Y RECICLAJE***

Desde la invención de otras rutas en el proceso de producción de plásticos, no es sorprendente observar que la industria del plástico se ha desarrollado masivamente. Con estos desarrollos, este producto ha traído muchos errores asociados con la gestión de residuos. Sin embargo, debido al desarrollo de muchas tecnologías y sistemas, los desechos plásticos generados pueden recuperarse y reciclarse para la fabricación sostenible y la gestión de los recursos. El reciclaje tiene una serie de beneficios en comparación con el vertido de residuos; ahorra energía y recursos naturales, lo que conduce a la reducción de los costos de producción, genera ingresos y creación de empleo para poblaciones vulnerables y reduce los costos de vertido y gestión de desechos.

El reciclaje de desechos sólidos de plástico es una forma de lograr una actividad económica sostenible, la mayoría de las empresas manufactureras están motivadas para recuperar materiales de la cadena de suministro siempre que se vean beneficiadas. La sustentabilidad en las industrias de servicios o fabricación da como resultado la creación de bienes o servicios mediante la utilización de sistemas y procesos que conservan los recursos naturales y la energía, no tienen contaminación y son económicamente seguros para las comunidades y los empleados. Sin embargo, el reciclaje es una opción que las empresas manufactureras pueden considerar sostenible ya que conserva los recursos, reduce los costos de transporte y de la eliminación de los desechos sólidos y prolonga la vida de los vertederos. Con estos beneficios del reciclaje, es importante que las economías en desarrollo que enfrentan los desafíos de PSW consideren aprovechar estos beneficios.

Varios estudios han investigado estrategias para la recuperación de desechos. Sin embargo, la mayoría de estos estudios han investigado las estrategias que influyen en los hogares o las comunidades para participar en programas de recuperación de desechos.

### **2.1. Recuperación y reciclaje de desechos plásticos en el contexto de Colombia.**

Colombia, al igual que muchas naciones del tercer mundo, enfrenta el desafío de manejar los desechos sólidos. La mala gestión de los desechos ha contribuido a la falta de saneamiento y problemas relacionados con la salud. A pesar de los desafíos relacionados con la gestión de residuos sólidos, Colombia cuenta con políticas y legislaciones de residuos (Plan de gestión de residuos sólidos PGIRS; Plan para el Manejo Integral de Residuos Sólidos PMIRS; Estrategia para la Estructuración del Sistema Organizado de Reciclaje SOR) (Basing Green Care 2013).

Existen regulaciones y leyes que controlan la gestión de los desechos sólidos, pero existen serias deficiencias en el cumplimiento. Por lo tanto, como resultado de los continuos esfuerzos para mejorar el sector de gestión de residuos en Colombia, la estrategia nacional de gestión de residuos sólidos se desarrolló en 2004 y uno de sus objetivos es la minimización de residuos y el reciclaje. Sin embargo, la formación de esta estrategia no ha conducido totalmente a la recuperación y el reciclaje de los residuos sólidos de plástico de los flujos de residuos, así como de los generadores.

Los desafíos en la recuperación y el reciclado de PSW no deberían depender de las políticas y legislaciones establecidas para poder ser resueltos. La fabricación y el reciclaje de plásticos deberían evaluar el impacto de la implementación de otras estrategias para lograr la recuperación y el reciclaje sostenible de los recursos.

## **2.2. Estrategias para el manejo sostenible de residuos sólidos plásticos (PSW)**

El hecho de que los plásticos se fabriquen a partir de recursos limitados, muchos desarrollos tecnológicos para reciclar plásticos, entre otros recursos, se han utilizado. Como problema global, se debe hacer más para resolver los recursos de este mundo y se necesitan estrategias que no sean la tecnología. Existe una cantidad de estrategias en el ámbito económico, ambiental, social y de mercado. Estas estrategias son muy cardinales en el desarrollo de sistemas para la recuperación y el reciclado de PSW. Para la fabricación sostenible de PSW recuperados y reciclados, es importante comprender si el proceso será económico, ambiental, legal y socialmente aceptable. Por lo tanto, los hallazgos de esta investigación contribuirán al cuerpo de conocimiento sobre la fabricación sostenible de PSW, así como a la gestión de residuos, destacando los factores críticos para la implementación en los programas de recuperación y reciclaje para este tipo de desechos.

## **2.3. Estrategias tecnológicas**

El costo del reciclaje ha disminuido como resultado de los avances tecnológicos y como consecuencia, se ha reducido la brecha entre los plásticos vírgenes y el valor de los plásticos reciclados. Como resultado de los avances en las tecnologías de desperdicio y clasificación, el reciclaje de envases sin botella ha sido posible en países europeos como España, Austria, Italia, Noruega y Alemania. Además, en comparación con otros tipos de desechos, se requiere un mayor número de tecnologías diferentes para reciclar plásticos y, por lo tanto, el desarrollo de nuevas tecnologías para reciclar plásticos debe estar en la agenda de los recicladores.

## **3. Preocupaciones ambientales y estrategias de legislación.**

“De acuerdo con un estudio realizado sobre mercados para plásticos reciclados” (Aluna Consultores LTDA. Aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas 2011. (CEMPRE org, 2017) la legislación se considera una de las estrategias que fomenta el

reciclaje de plásticos usados, las tasas más altas de reciclaje y recolección generalmente se producen por la responsabilidad extendida del productor (EPR) que los programas puramente voluntarios. H. Zhang, (2014) “El uso de EPR ha tenido un gran impacto para lograr mayores tasas de reciclaje en Japón. El sistema EPR especifica la responsabilidad de cada parte permitiendo que las tasas de reciclaje subieran al 70% de 1995 a 2010”. La legislación ha obligado a muchas industrias del sector electrónico a establecer sistemas para la eliminación segura y la recuperación de productos, además los productores de plástico desde la perspectiva europea están tratando de abordar las preocupaciones ambientales con los plásticos de desecho.

### **3.1. Estrategias económicas**

Varias estrategias económicas influyen en la viabilidad del reciclado de plásticos. Para producir un efecto con una política de gestión de residuos se debe dar la gestión constante de los materiales de desecho durante un período de tiempo. Aprovechar los residuos es un factor económico que influye en los recolectores de basura y carroñeros para reciclar los desechos. Según F. Contreras, (2013) “la ciudad de Yokohama en Japón exporta papel y plástico reciclado para fines económicos”. En Malasia, muchos propietarios de camiones privados adquieren de forma itinerante baterías de automóviles o papel de los hogares y lo revenden a otros centros locales de reciclaje comercial como una forma de complementar sus ingresos. Estas actividades son el resultado del valor económico asociado a los residuos.

### **3.2. Estrategias sociales**

Según Aluna Consultores LTDA (2011) “una amplia participación entre la población general en los esquemas de reciclaje es un comportamiento ambiental que resultó en el 57% de la población en la encuesta realizada en 2006”, la recolección de botellas de PET se realiza principalmente por el sector informal, esto ha dado lugar a un aumento del 19% en 1995 al 56% en 2010. Se debe tener en cuenta que la participación de la sociedad en la recuperación de

residuos para reciclado debe considerarse especialmente al desarrollar sistemas integrados de gestión de residuos sólidos respetuosos del medio ambiente.

### 3.3. Estrategias de mercado

Mejorar las tasas de reciclaje no solo depende de los avances técnicos. Otras estrategias, como la participación en el mercado, son clave para influir en los fabricantes de plásticos y recicladores para que recuperen y reciclen más PSW. Aluna Consultores LTDA (2001), señaló que es importante que los recicladores participen estrechamente con otros actores clave a lo largo de la cadena de suministro, como los minoristas, y que existe una gran necesidad de que los municipios, clasificadores, etc. trabajen directamente con los recicladores. La esencia de los recicladores que tratan directamente con los municipios, minoristas o clasificadores es que, esto puede resultar en la promoción de la reciclabilidad. De acuerdo con F. Contreras, (2013) China ya tiene un mercado nacional considerable para reciclar su propio plástico. Un total de 15 millones de toneladas de residuos de plástico de origen chino se recicló en 2011.

**Tabla 4.** Estrategias para la recuperación y el reciclaje de PSW. Fuente: elaboración propia

Categoría	Estrategia
<i>Económica</i>	Menor consumo de energía durante la producción de insumos
	Alta demanda de los materiales en la fabricación
	El costo de formas de eliminación aceptables alternativas comparado con el reciclaje.
	El precio del polímero virgen en comparación con el polímero reciclado

<i>Cuestiones ambientales y legislaciones</i>	Aplicación de las Regulaciones de Responsabilidad del Productor para fomentar la recolección de desechos plásticos
	Aplicación de la ley nacional sobre reciclaje de desechos plásticos
	Legalización de la recolección selectiva realizada por los recicladores de los hogares, los minoristas, los vertederos, etc.
	Aplicación de programas de conciencia ambiental sobre la importancia del reciclaje de desechos plásticos
	Aplicación de la segregación de residuos a nivel de hogar
	Creación de estándares de calidad y esquemas de certificación para recicladores de plásticos
<i>Mercado</i>	Formación de mercados finales de polímeros reciclados.
	Mayor compromiso de los recicladores entre sí a lo largo de la cadena de suministro
	Existencia de sistemas de mercado que dependen del rendimiento del material reciclado
	Cooperación transnacional en el reciclado de residuos plásticos
	Uso de esquemas de incentivos para motivar el reciclaje de plástico en los niveles de hogar
	Eficiencia del municipio, contratistas de residuos privados o recolectores informales de residuos en la recolección de residuos

	Introducción de segregación de residuos de plástico a nivel de hogar con fines de reciclaje
	Incrementar la conciencia del consumidor sobre el reciclaje de plástico
	Educación de los hogares / comunidad sobre la relevancia de los recolectores informales de residuos en la cadena de suministro
<i>Tecnología</i>	Mejora en la tecnología e infraestructura de reciclaje, por ejemplo. extrusión, moldeo por soplado.etc.
	Mejora en las tecnologías de reducción de tamaño
	Mejora en las tecnologías de clasificación
	Diseño de productos para reciclabilidad
	Garantizar la aplicabilidad del material en los procesos de fabricación

Fuente: Elaboración propia

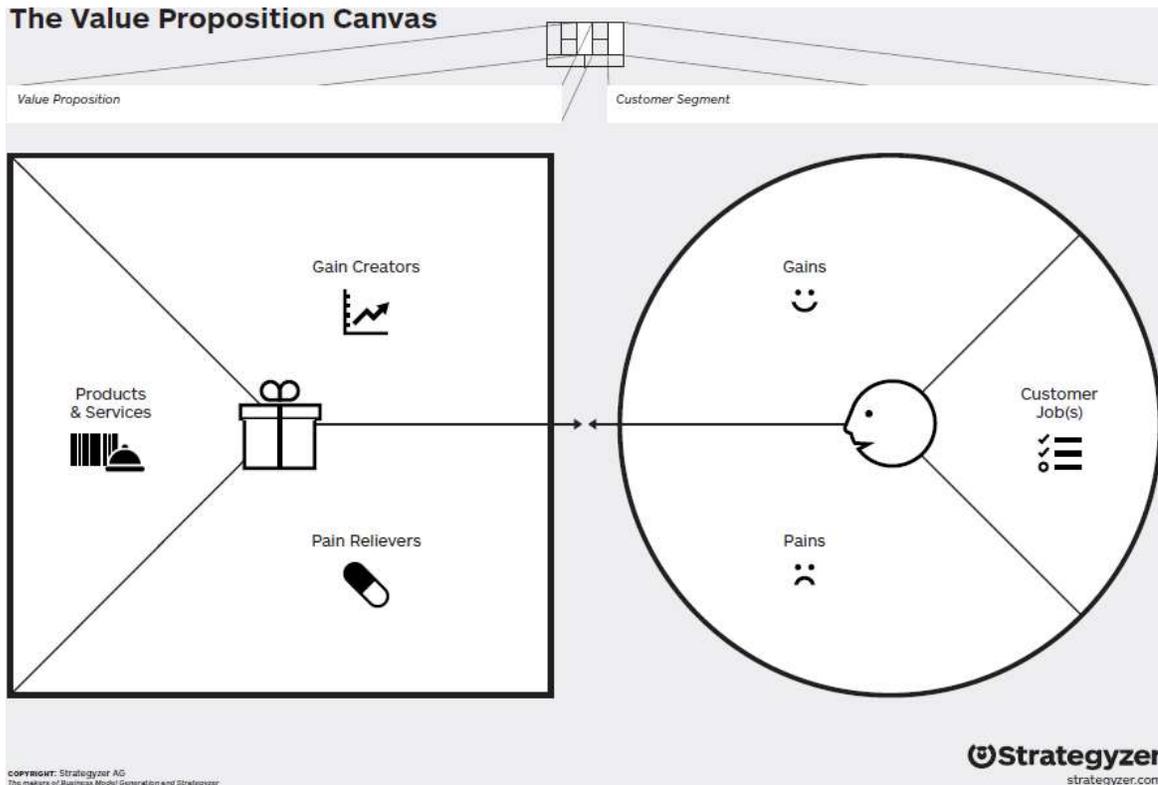
### 3.4. Modelo de negocio

Modelo Lean Startup. El método Lean Startup fue diseñado debido a la necesidad que se evidencio en el mercado, al identificar que los emprendimientos fracasan en etapas tempranas por la manera en el que el negocio es configurado tradicionalmente (inversión alta para el inicio del emprendimiento, por conceptos de maquinaria productiva, mercadeo...) y las condiciones actuales de cambio constante y ambiente dinámico, así como también la incertidumbre de desconocer la aceptación del producto o servicio por el consumidor (Ries E. 2012). Alrededor de este modelo se han realizado unas consideraciones para tener en cuenta de modo que un emprendimiento mitigue su riesgo económico en etapas tempranas.

El modelo está centrado en el beneficio del cliente, lo primero que se plantea en el modelo es identificar una necesidad que pueda ser suplida con un producto o servicio, luego de esto se debe diseñar un producto básico más viable (Crear – Aprender – Medir). Para llegar a esto necesariamente el modelo de negocio debe ser planeado, el cual se le llama modelo de negocio Canvas, que unifica la propuesta de valor y el plan de negocio.

A continuación, enunciamos una propuesta de valor.

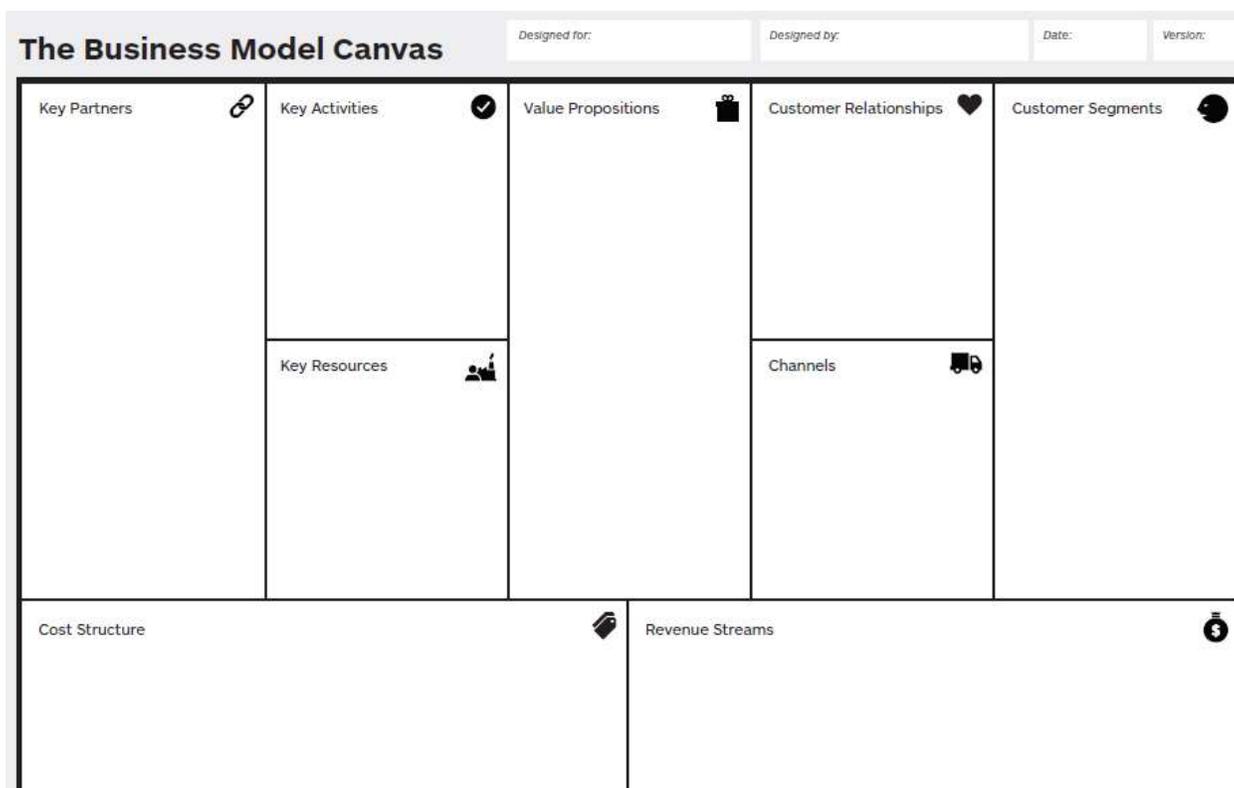
**Figura 8.** Propuesta de valor canvas



Fuente: [www.Strategyzer.com](http://www.Strategyzer.com)

Esta propuesta de valor, por consiguiente, es una entrada para complementar el modelo de negocio canvas.

**Figura 9.** Modelo de negocio Canvas



Fuente: [www.Strategizer.com](http://www.Strategizer.com)

El modelo de negocio Canvas es algo que se diligencia en una sola página y que consolida de forma explícita la información de foco, por lo cual se considera muy práctico.

Como se mencionaba anteriormente se debe crear un producto mínimo viable, el cual es un producto funcional que pueda representar de manera general lo que se quiere ofrecer a los clientes y que pueda someterse a validación con los mismos directamente para recibir retroalimentación.

Para esto, debemos primero crear una estrategia o circuito de retroalimentación, en donde de forma iterativa vamos mejorando el producto con base en las sugerencias directas de los posibles clientes. Estos supuestos están alineados a la mitigación de los riesgos que tienen las Start Ups los cuales se describen en la imagen a continuación.

**Figura 10.** Etapas de riesgo en las Start Ups



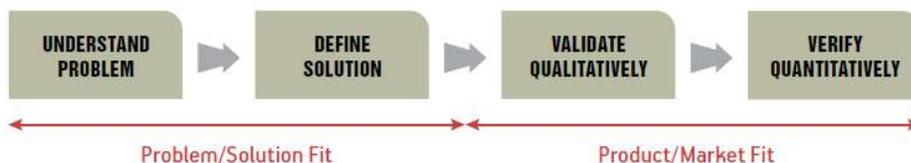
Fuente: Running Lean

En esta etapa lo primero que se debe definir es el foco de trabajo, el cual se centra en pivotes [Ries, (2012)]. (cambios de dirección para encontrar un plan que funcione) y la optimización” (acelerar el progreso).

Se debe entonces empezar a validar la hipótesis descrita en el modelo de negocio poniendo este en contacto con el cliente, así podemos generar aprendizaje y ajustar lo que se deba, de modo que el resultado funcione.

Para optimizar el producto se deben hacer experimentos iterativos que son los que nos definirán como el producto y el mercado se adapta a las necesidades del cliente, donde todas las reacciones nos aportarán un aprendizaje y un “pulimento” del producto/servicio trabajando en paralelo el mercadeo de este. Tenemos lo siguiente.

**Figura 11.** Patrón de iteración



. Fuente: Running Lean

La primera serie de acciones se enfoca en tener la consistencia entre el problema y la solución o encontrar un problema que valga la pena solucionar, mientras que las otras dos en experimentar para encontrar el producto que el consumidor desee, de forma cualitativa o microescala y de forma cuantitativa o macro escala.

Se define que la mejor oportunidad para recurrir a capital semilla es luego de que se den estas dos etapas debido a que ya se tendría la hipótesis del modelo de negocio confirmada (problema y solución) y también la aceptación/definición del producto en el mercado (adoptadores tempranos, órdenes de compra, definición de producto que el consumidor quisiera comprar).

#### 4. DEMANDA Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Con el propósito de realizar esta revisión, se opta por validar a nivel nacional, principalmente, empresas en las cuales su actividad económica dependa directamente del reciclaje y/o la reutilización de los productos plásticos, adicional a esto, debido a que se trata de una iniciativa social, se validan algunas entidades financieras y sus condiciones para aporte de capital o financiación a un emprendimiento, con el propósito de citar los apoyos o entidades que quienes se encarguen de elaborar ideas de negocios y puedan tener a la mano para consulta o asesoramiento. Mejorar las tasas de reciclaje no solo depende de los avances técnicos. Otras estrategias, como la participación en el mercado, son clave para influir en los fabricantes de plásticos y recicladores para que recuperen y reciclen más PSW. Es importante que los recicladores participen estrechamente con otros actores clave a lo largo de la cadena de suministro, como los minoristas, y que existe una gran necesidad de que los municipios, clasificadores, etc. trabajen directamente con los recicladores. La esencia de los recicladores que tratan directamente con los municipios, minoristas o clasificadores es que, esto puede resultar en la promoción de la reciclabilidad.

##### 4.1. Identificación de compañías a nivel nacional

**Tabla 5.** Identificación de compañías a nivel nacional.

<b>Empresa</b>	<b>Materias primas</b>	<b>Línea de Productos y Servicios</b>	<b>Fuente referencial</b>
<b>Enka (1990 reciclaje de PET)</b>	polímeros y fibras sintéticas de poliamida (Nylon) y	Textil, tejido de llantas, empaques (Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gaseosas,</li> <li>▪ Aceites, Agua mineral,</li> </ul> Licores, Bebidas isotónicas,	Enka de Colombia S.A, 2017. Informe de Sostenibilidad 2017. Colombia: Publicación de Enka de Colombia S.A. Recuperado de: <a href="http://www.enka.com.co/enka/">http://www.enka.com.co/enka/</a>

	<p>poliéster (Fibras, Filamento, Hilos industriales y resinas de poliéster, resinas PET)</p>	<p>Bebidas llenadas en caliente, Productos Farmacéuticos, Alimentos, Cosméticos, ▪ Botellones de alto volumen, Agroquímicos, Envases retornables para aguas y gaseosas.), eslingas, carpas de lona</p>	
<p><b>SCRecycling</b></p>	<p>Mezcla de Polietileno de baja densidad y polipropileno. Polietilenos, Polímeros recuperados de alta, media y baja densidad. Polipropilenos.</p>	<p>Compra de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polietileno de baja densidad (PEBD) flexible, transparente y de colores, limpio y sucio.</li> <li>• Polietileno de alta densidad (PEAD) flexible, transparente y de colores, limpio y sucio.</li> <li>• Polipropileno (PP) flexible, transparente y de colores, limpio y sucio.</li> <li>• Mezclas de Polipropileno y Polietileno de baja densidad (PP+PEBD) (Excedentes Pañal).</li> <li>• Polipropileno (PP) molido transparente y colores, limpio.</li> </ul> <p>Resinas Recuperadas:</p>	<p>SCRecycling S.A, 2018. Empresa. Colombia: Publicación de SCRecycling. Recuperado de: <a href="http://screcycling.com.co/empresa.html">http://screcycling.com.co/empresa.html</a></p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla de polietileno y polipropileno (PP+PEBD) para proceso de inyección y extrusión. Presentación aglutinado o peletizado.</li> <li>• Polietileno de baja, media y alta densidad (PEBD-PEMD-PEAD) para proceso de extrusión, Presentación aglutinado o peletizado.</li> <li>• Polietileno para proceso de inyección, Presentación peletizado.</li> <li>• Polipropileno (PP) para proceso de extrusión e inyección, Presentación aglutinado o politizado</li> <li>• Aditivos.</li> <li>• Excedentes textiles</li> <li>• Vendemos y asesoramos técnicamente a grandes, medianas y pequeñas empresas.</li> <li>• Manejamos ventas al detal, ajustándonos a las necesidades de los microempresarios.</li> </ul>	
<b>CEMPRE</b> <b>(Comprom</b>	Proyecto Reciclar	Impulsar el reciclaje incluso para dignificar las	CEMPRE, Servicios. Colombia: Publicación de CEMPRE.

<b>iso Empresari al para el Reciclaje, 2009)</b>	tiene valor, Proyecto IRR (Iniciativa Regional para el reciclaje inclusivo	asociaciones de recicladores a nivel nacional, orientando sus esfuerzos a generar políticas públicas para este propósito y motivando el reciclaje en los hogares, alianzas con el sector industrial y capacitando a los recicladores	Recuperado de: <a href="https://cempre.org.co/">https://cempre.org.co/</a>
<b>Ecoplas de Colombia</b>	Maquinaria portátil de procesamien to de plástico listo para uso	Servicio de Molido, Lavado y Secado de productos en plástico de alta densidad Cajas plásticas guers, industrias Extra S.A, Plasticos Rimax S.A.S Colombia	Ecoplas de Colombia, 2018. Servicios. Colombia: Publicación de Ecoplas de Colombia. Recuperado de: <a href="http://www.ecoplasdecolombia.com/">http://www.ecoplasdecolombia.com/</a>
<b>Ekored (reciclaje de PET, 2003)</b>	PET	Logística, captación, compra y transporte de material PET a nivel país, separación de botellas por color y compactación. Inclusión a las comunidades recicladoras y de escasos recursos. Resinas, fibras y filamentos, los cuales son empleados en múltiples usos textiles o plásticos con propiedades similares a aquellos provenientes de la cadena	Ekored, 2015. Quienes Somos. Colombia: Publicación de Ekored. Recuperado de: <a href="http://www.ekored.co/quienes-somos/#mision">www.ekored.co/quienes-somos/#mision</a>

		<p>petroquímica. Recuperación de 1.7 millones de botellas PET al día, lo cual reduce el 72% de emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo energético de 92% en comparación a una fabricación con materias vírgenes</p>	
<p><b>Socya (Reciclaje de PET, 2002)</b></p>	PET	<p>Entidad sin ánimo de lucro con representación a nivel Nacional en todas las regiones del país, Opera la red más grande de recuperación de envases de PET, lo reciclan y le dan valor a este y entre otros productos. Impactan de manera positiva a las comunidades afectadas por megaproyectos o actividades industriales de contaminación moderada, ofrecen consultoría para garantizar los mejores manejos ambientales. 7.588 toneladas de PET comercializadas en 2016</p>	<p>Socya, 2017. Portafolio de Servicios. Colombia: Publicación de Socya. Recuperado de. <a href="http://socya.co/portal/wp-content/uploads/2017/08/portafolio2017-web.pdf">http://socya.co/portal/wp-content/uploads/2017/08/portafolio2017-web.pdf</a></p>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Identificación de compañías que fabrican Bioplásticos

Tabla 6. Reconocidas empresas de fabricación d Bioplásticos.

Empresa	Materias primas	Línea de Productos y Servicios	Fuente referencial
<b>Braskem (Polietileno Verde, 2007)</b>	Polisobutilen, butadiene, polietileno verde, polipropileno	Producen polímeros que funcionan como materia prima para un sin número de industrias, tales como los neumáticos, tanques de combustible, tableros de control en vehículos, para el cual están en un proyecto de producción de bioplásticos que son obtenidos de la caña de azúcar y reemplazaran los que son obtenidos de la nafta, la industria de la construcción con plásticos 100% reciclables, producción agrícola con bolsas silo, empaques tetra pack	Braskem Company, 2016. Industries. Brasil: Publicación de Braskem Company. Recuperada de: <a href="http://www.braskem.com.br/usa/industries">www.braskem.com.br/usa/industries</a>

<p><b>NatureWorks LLC (Producción de Biopolímeros en 1989)</b></p>	<p>Biopolímero Ingeo</p>	<p>Fabrican material base para la construcción de plásticos y fibras, el material se sintetiza del ácido láctico y es un material bioclástico de la línea compostable (100% Biodegradable), el biopolímero se usa para las industrias de impresión 3D, sector hospitalario (tapa bocas), empaques de alimentos, empaques industriales, empaques para comida cocida, empaques para dispositivos electrónicos, bolsas de basura, accesorios para el hogar, cobertores para interiores, Ingeo tiene una relación de &lt; de 1 (kg CO<sub>2</sub>/kg plástico). Sirve para procesarse en termoformadoras, sopladoras, extrusión, moldes de inyección, moldes de soplado, fibras</p>	<p>NatureWorks LLC, 2018. Ingeo In Use. Estados Unidos: Publicación de Nature Works LLC Company. Recuperado de. <a href="https://www.natureworksllc.com/Ingeo-in-Use/">https://www.natureworksllc.com/Ingeo-in-Use/</a></p>
--	--------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia

Acorde al estudio anteriormente planteado, se puede concluir que se tienen amplias oportunidades respecto al mercado de reutilización y reciclaje de productos plásticos.

Un nicho de mercado que se puede explotar es el de impresión 3D, hay muy poca utilización de estos servicios a nivel nacional y se tiene maquinaria para impresión 3D que puede

tomar gránulos de polímero, producto de un proceso de reutilización de productos plásticos, para la fabricación de diversidad de productos.

Hay también un mercado objetivo respecto al reciclaje de productos plásticos con los cuales se pueden crear materias primas para procesos productivos donde se reutiliza el plástico ya que únicamente el 17% de 11.6 toneladas de residuos sólidos es aprovechado en Colombia adicional a esta oportunidad de reciclaje, se suman los planes de gobierno alrededor de la humanización del oficio del reciclaje, el compromiso del país ante COP21 que busca la reducción de la huella de carbono y que ésta a través del reciclaje y la reutilización del plástico se puede cuantificar como indicador de sostenibilidad GRI, pudiendo incentivar la inversión de dinero de carácter público a la hora de gestionar recursos para un emprendimiento social de este tipo. (ANDI, 2016. Informe de Gestión 2016).

Se puede también identificar prácticas que pueden elevar la cantidad de productos reciclados para ser usados como materias primas, las que promueven la invitación de la sociedad en campañas de sensibilización de reciclaje y exposición de puntos de recaudo de materiales según su clasificación (Plástico, Cartón, papel).

Por el lado de los Bioplásticos, Biopolímeros o Polietilenos verdes, se puede identificar que hay mercados inexplorados a nivel nacional en este nicho, también identificar que como proceso productivo requiere de la participación de personal técnicamente calificado para su procesamiento, así como infraestructura especializada (La sintetización de estos polietilenos verdes o Biopolímeros, se obtiene principalmente por sintetización de Ácido láctico o de procesos de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar). Esto también nos podría llevar a pensar en oportunidades de alianzas comerciales con grandes ingenios azucareros del país.

Se identifican diversidad de aplicaciones en donde el producto plástico reutilizado no requiere satisfacer condiciones de almacenamiento de grado alimenticio (productos para uso cotidiano, como jarrones, mesas, sillas y no de consumo).

En torno al proceso de reciclaje se identifica como producto de mayor aceptación, el plástico PET, ya que este cuenta con un valor más atractivo para el reciclador que los productos papel y cartón.

### 4.3. Fuentes de financiación o de recursos.

Esta sección comprende alternativas de financiación y programas gubernamentales que promueven el otorgamiento de recursos para emprendimientos innovadores, esta parte del estudio de mercado se centra no solo en las entidades gubernamentales, sino, también en entidades que funcionan como fuentes de financiación y que son mucho más eficaces que los bancos, las cuales han sido denominadas Fintech.

**Tabla 6.** Fuentes de financiación.

<b>Empresa</b>	<b>Modelo de gestión</b>	<b>Monto de capital</b>	<b>Fuente referencial</b>
<b>Innpulsa</b>	Capital semilla / Ángeles Inversionistas	Hasta 350 millones dependiendo del proyecto	Innpulsa Colombia, 2018. Ofertas. Colombia: Publicación de Innpulsa Colombia. Recuperado de: <a href="https://www.innpulsacolombia.com/es/ofertas">https://www.innpulsacolombia.com/es/ofertas</a>
<b>Fondo Emprender</b>	Capital semilla	Hasta 150 millones según la cantidad de empleos provistos por el emprendimiento	Fondo Emprender, 2018. Convocatorias. Colombia: Publicación de Fondo Emprender. Recuperado de: <a href="http://www.fondoemprender.com/SitePages/Convocatorias.aspx">http://www.fondoemprender.com/SitePages/Convocatorias.aspx</a>
<b>Mesfix</b>	Crowdfactori ng - Fintech	Financiación acorde al estudio de tu empresa y tus posibles cofinanciadores	Mesfix, 2018. Financiar.me. Colombia: Publicación de Mesfix. Recuperado de: <a href="https://www.mesfix.com/empresas">https://www.mesfix.com/empresas</a>

<b>Ángeles inversionistas</b>	Canalizar inversión	Entre los 100 y 1.200 millones de pesos	Ángeles Inversionistas, 2018. Inicio. Colombia: Publicación de: Fundación Ángeles Inversionistas. Recuperado de: <a href="http://www.angelesinversionistas.com.co">www.angelesinversionistas.com.co</a>
<b>Kick Starter</b>	Crowdfundin g	Conecta personas de todo el mundo para reunir los fondos que sustentan un prototipo de producto	Kick Starter, 2018. Empieza un proyecto. New York: Publicación de: Kick Starter PBC. Recuperado de: <a href="https://www.kickstarter.com/learn">https://www.kickstarter.com/learn</a>
<b>Finnovista</b>	Acelerador de Fintechs	Red de emprendimiento	Finnovista, 2018. Accelerating Fintech Entrepreneurship. España: Publicacion de Finnovista. Recuperado de: <a href="https://www.finnovista.com/">https://www.finnovista.com/</a>
<b>Aflore</b>	Financiación	Ofrece financiación sin costos asociados al ofrecimiento del crédito y a tasas competitivas con el mercado, ofrece créditos a partir de demostrar un SMLV de ingresos	Aflore Colombia, 2018. Solicita tu Crédito. Colombia: Publicación de Aflore Colombia Fintech Ally. Recuperado de: <a href="http://www.aflore.co/">http://www.aflore.co/</a>

<b>Refinancia</b>	Refinanciación de deuda	Ofrece la posibilidad de refinanciación de deuda para facilitar el pago	Refinancia, 2018. Soluciones Especializadas de Crédito. Colombia: Publicación de Refinancia Colombia. Recuperado de: <a href="http://www.refinancia.com.co/">http://www.refinancia.com.co/</a>
<b>Startupstockexchange</b>	Crowdfunding	Ofrece la posibilidad de vender participación en la empresa a otras personas para obtener recursos, así como también interacción en mercado para compra de acciones	Start Up Stock Exchange, 2016. Raise the Capital you Need with SSX. Deutschland: Publicación de Start Up Stock Exchange. Recuperado de: <a href="https://www.startup.sx/">https://www.startup.sx/</a>
<b>Finaxion</b>	Financiación	Ofrece crédito acorde a ingresos y capacidad máxima de endeudamiento	Finaxion, 2018. Encuentra tu crédito. Colombia: Publicación de Finaxion Colombia. Recuperado de: <a href="http://www.finaxion.com/">http://www.finaxion.com/</a>
<b>Lineru</b>	Microcréditos	Ofrece créditos de bajo valor, de manera muy rápida (Aplica para emergencias)	Lineru, 2018. Créditos en Línea. Colombia: Publicación de Lineru Colombia. Recuperado de: <a href="https://www.lineru.com/">https://www.lineru.com/</a>

Fuente: elaboración propia

Según las compañías investigadas anteriormente en este aparte, podemos dar los siguientes comentarios.

Se identifican compañías y entidades gubernamentales que fomentan la innovación empresarial a través de fondos de capital semilla, o de renovación, que, a la hora de iniciar un emprendimiento que no posee sustento económico, pueden facilitar su creación o materialización (De la idea a la práctica). Al identificar este tipo de compañías al análisis práctico, una persona tendría la fuente para consultar como participar en una convocatoria y conocer los requerimientos que debe cumplir para su inscripción y ser un aspirante.

Por otro lado, se plantean modelos innovadores de llevar a cabo la creación de un emprendimiento que van alineados a lo que es Lean Start Up, que son compañías que a partir de modelos de productos permiten la interacción Cliente – Productor y que se realicen pedidos por adelantado sin tener que arriesgar capital directo del emprendedor, lo cual se traduce en que la compañía es creada luego de probar que el producto tiene aceptación en el mercado (Pereto Alexandre, 2014).

Adicionalmente, se incluye también una compañía como finnovista, la cual es una firma que potencializa emprendimientos Fintech, por lo tanto, es una fuente que puede direccionar la búsqueda de más empresas Fintech que puedan soportar la financiación de un emprendimiento o la recolección de capital para el mismo fin.

## 5. PALABRAS DE LOS AUTORES

A lo largo de este texto se han ido documentando los procesos que aplican para reciclar plásticos, donde se evidenciaron mayores usos en el reciclaje mecánico y el químico. En el químico particularmente, se evidencian varios estudios asociados a la pirolisis, sus ventajas y desventajas.

Explorando algunas estrategias, se fundamentan las actividades requeridas para tener modelos exitosos al redor del sector plástico.

Por último, pero no menos importante, se plantea la metodología de un modelo de empresas para startups, el cual es muy útil para reducir el riesgo al fracaso de los emprendimientos en etapas tempranas y, el riesgo de no aceptación del producto ofertado.

Particularmente en cuanto al reciclaje de plástico en Colombia se tiene mucha oportunidad ya que hay mucho material que no puede aprovecharse por algunas razones como, las dificultades en la separación en la fuente; debemos generar más conciencia respecto a la importancia de separar los residuos en los hogares colombianos.

Aunque el reciclaje y la utilización de productos de plástico mitigan impactos al medio ambiente, debemos generar emprendimientos que sean sostenibles en el tiempo y además que también estén basados en modelos de economía circular. Así reducimos la producción de residuos contaminantes a la vez que se genera empleo en toda la cadena productiva. En un foro de sostenibilidad al cual se asistió el pasado 19 de abril, se evidencian las campañas que se están llevando a cabo para orientar la actividad económica industrial con un enfoque sostenible. También que los nuevos emprendimientos que requieran de capital semilla necesariamente deben

generar un impacto positivo para el medio ambiente o la sociedad en sí para que puedan concursar por inversión.

Podemos ver que en Colombia la mayor parte del mercado se encuentra focalizada en el reciclaje de productos PET, lo cual indica que los otros materiales no están siendo aprovechados y nos abre las puertas para que solucionemos un problema ambiental más.

El enunciar el modelo Lean Startup en esta validación bibliográfica, permite que se identifique como es el proceso para la creación de una Startup, realizando un manejo del riesgo apropiado para que en cuanto se requiera de capital semilla, ya se tenga gran parte de las actividades consolidadas y probadas con sujetos reales.

Por último, la forma que se considera más apropiada desde nuestro punto de vista es la reducción en la producción desmesurada de estos productos plásticos y su consumo masivo, a menor generación de residuos, menos residuos habrá que tratar de recuperar, también que desde el momento en que el producto sea fabricado, ya se haya contemplado un posterior uso al consumo en primer lugar, de modo que el producto continúe siendo parte de otros procesos productivos.

## 6. CONCLUSIONES:

De toda la revisión bibliográfica en términos generales se puede concluir que además de unas bases y estudio de las oportunidades en el sector del mercado de plástico y teniendo en cuenta las aplicaciones para el procesamiento de los materiales reciclados para la obtención de materias primas y los procesos industriales para obtener productos terminados. Es indispensable que se complemente este ejercicio con participación de entidades como el Sena para ofrecer formación técnica para comunidades menos favorecidas enfocada en el tema de recuperación y producción de productos a base de plásticos.

Si bien sabemos que hay un gran potencial para reciclaje de productos plásticos, se identifica que lo que más dificulta este reciclaje es la separación en la fuente donde el residuo es generado, por tanto, es absolutamente necesario que se realicen campañas educativas que lleguen a los hogares colombianos.

Como parte de un programa de recolección de residuos ya separados, se debe implementar un modelo que capacite primero al reciclador y este se encargue de replicar el conocimiento a los hogares colombianos, de modo a que este material plástico pueda ser obtenido y separado de manera precisa por los mismos consumidores, volviendo más eficiente el oficio del reciclador.

Se tienen diferentes alternativas de reciclaje de plásticos como lo son la mecánica y la química, ambos requieren de tecnología y formación técnica, así como también una alta inversión en los equipos que se deben comprar para desarrollar cada una de ellas, lo cual representa una desventaja de tipo económico para el inicio de una startup, fundamentada en este tipo de sistemas, debido a las sociedades en contexto.

Los procesos de reciclaje químico en algunos casos presentan una desventaja, debido a que de estos se derivan algunos gases (CO<sub>2</sub>) y combustibles, por las características de los productos que se tratan mediante la técnica (Pirolisis), es requerido realizar un análisis económico en este aspecto en contraste a los productos comunes del mercado y los potenciales beneficios que representa el reciclaje de estos productos a no hacerlo.

La creación de una compañía con enfoque de sostenibilidad (impacto positivo Social y medio ambiental) podría contar fácilmente con financiación o inversión, debido a que las entidades que poseen dinero disponible para este tipo de actividad se encuentran alineadas con las estrategias actuales gubernamentales, en donde se pretende apoyar a las compañías que resuelven problemas sociales y medio ambientales con soluciones innovadoras.

Con base en el estudio de mercado realizado y la documentación de los estudios tecnológicos que se han realizado alrededor del plástico se puede concluir que en Colombia se tienen muchas oportunidades, ya que no solo hay muchos residuos que no se aprovechan, sino que también, las empresas que actualmente trabajan en el sector no cubren la totalidad de tipos de productos que se encuentran en el mercado.

Las diversas tecnologías de reciclaje de PSW presentadas en este documento, han contribuido en gran medida a la imagen ecológica de la gestión de residuos y, en particular, al reciclado, tratamiento y recuperación de PSW. La reutilización y la disminución de los materiales poliméricos de una sola vida ciertamente beneficiarán la situación actual. Al iniciar el ciclo de reciclaje en una línea de procesamiento, se puede integrar con el proceso de re-extrusión de chatarra que se produce a diferentes escalas con diferentes termoplásticos.

## 7. RECOMENDACIONES

Algunas desventajas aparecen cuando se elige el reciclaje mecánico como una ruta de reciclaje. Los tipos de plástico basado en polímeros, su condición e idoneidad, así como el intenso consumo de energía involucrado abarcan todos los principales problemas relacionados con PSW. Para que la aplicación práctica de cualquiera de estos métodos de reciclaje sea exitosa, se debe enfatizar que los subproductos resultantes de los diversos tratamientos mecánicos deben tener propiedades similares a las de los plásticos comerciales con respecto a su tipo y origen de monómero. El tratamiento terciario de los artículos de plástico usados es, de lejos, una solución más sostenible. No solo recupera valiosos productos petroquímicos como materia prima, sino que proporciona en el proceso una ruta de reciclaje, también produce energía en forma de calor, vapor, etc.

Los residuos sólidos plásticos (PSW) se derivan del petróleo y tienen una energía recuperable, en algunos casos comparables a otras fuentes de energía. La incineración directa mediante tecnologías de combustión de una o dos etapas puede reducir el volumen de PSW y la dependencia de los combustibles fósiles, lo que puede conducir a una mejor conservación de los recursos naturales y a sistemas integrados de gestión de residuos. Es muy importante considerar los métodos de reciclaje y recuperación de energía en las instalaciones de fabricación y conversión de plástico. Muchas tecnologías terciarias y cuaternarias parecen ser robustas para garantizar mayor investigación y desarrollo en el futuro cercano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aflore Colombia, 2018. Solicita tu Crédito. Colombia: Publicación de Aflore Colombia Fintech Ally. Recuperado de: <http://www.aflore.co/>

Aguado, J., Serrano, D.P., Miguel, G.S., Escola, J.M., Rodriguez, J.M., 2007. Catalytic activity of zeolitic and mesostructured catalysts in the cracking of pure and waste polyolefins. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78 (1), 153–161.

Al-Salem, S.M., 2009a. Establishing an integrated databank for plastic manufacturers and converters in Kuwait. *Waste Management* 29 (1), 479–484. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08001013?via%3Dihub>

Aluna Consultores LTDA. Aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas 2011. Tomado de: [http://cempre.org.co/wp-content/uploads/2017/05/3926\\_estudio\\_nacional\\_de\\_reciclaje\\_aproximacion\\_al\\_mercado\\_de\\_reciclables\\_y\\_las\\_experiencias\\_significativas\\_0-1.pdf](http://cempre.org.co/wp-content/uploads/2017/05/3926_estudio_nacional_de_reciclaje_aproximacion_al_mercado_de_reciclables_y_las_experiencias_significativas_0-1.pdf)

ANDI, 2016. Informe de gestión 2016. Colombia: Publicación de ANDI. Recuperado de: <file:///G:/Proyecto%20de%20grado/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>

Ángeles Inversionistas, 2018. Inicio. Colombia: Publicación de: Fundación Ángeles Inversionistas. Recuperado de: [www.angelesinversionistas.com.co](http://www.angelesinversionistas.com.co)

Asanuma, M., Ariyama, T., 2004. Recycling of waste plastics in blast furnace. *Journal of Japan Institute of Energy* 83 (4), 252–256.

Aznar, M.P., Caballero, M.A., Sancho, J.A., Francs, E., 2006. Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant. *Fuel Processing Technology* 87, 409–420. Tomado de:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.196&rep=rep1&type=pdf>

Barlow, C., 2008. Intelligent Recycling (presentation). Department of Engineering, Institute for Manufacturing, University of Cambridge.

Basing Green Care 2013. Normatividad sobre reciclaje en Colombia 2013. Tomado de: <https://basicgreenbags.wordpress.com/2013/05/26/normalidad-sobre-el-reciclaje-en-colombia/>

Biddle, M., 1999. An Overview of Recycling Plastics from Durable Goods: Challenges and Opportunities. Indentiplast II, Belgium.

Brachet, P., Hoydal, L.T., Hinrichsen, E.L., Melum, F., 2008. Modification of mechanical properties of recycled polypropylene from post-consumer containers. *Waste Management* 28 (12), 2456–2464.

Braskem Company, 2016. Industries. Brasil: Publicación de Braskem Company. Recuperada de: [www.braskem.com.br/usa/industries](http://www.braskem.com.br/usa/industries)

CEMPRE, Servicios. Colombia: Publicación de CEMPRE. Recuperado de: <https://cempre.org.co/>

Ciliz, N.K., Ekinici, E., Snape, C.E., 2004. Pyrolysis of virgin and waste polyethylene and its mixtures with waste polyethylene and polystyrene. *Waste Management* 2 (24), 173–181.

Tomado de:

<http://www.thevespiary.org/rhodium/Rhodium/Vespiary/talk/files/3341-Pyrolysis-of-virgin-and-waste-polypropylene-and-its-mixtures-with-waste-polyethylene-and-polystyrene-6d99.pdf>

Council PET, 2005. The council for PET bottle recycling, PET bottle recycling inline, report on mechanical recycling of plastic solid waste. Tomado de: [http:// www.petbottle-rec.gr.jp/english/index.html](http://www.petbottle-rec.gr.jp/english/index.html).

Ecoplas de Colombia, 2018. Servicios. Colombia: Publicación de Ecoplas de Colombia. Recuperado de: <http://www.ecoplasdecolombia.com/>

ECVM, 1997. PVC feedstock recycling in Europe: an overview of processes and recent developments. ECVM, May.

Ekored, 2015. Quienes Somos. Colombia: Publicación de Ekored. Recuperado de: [www.ekored.co/quienes-somos/#mision](http://www.ekored.co/quienes-somos/#mision)

Enka de Colombia S.A, 2017. Informe de Sostenibilidad 2017. Colombia: Publicación de Enka de Colombia S.A. Recuperado de: <http://www.enka.com.co/enka/>

EPIC, 2003. Environmental and Plastics Industry Council, Management of Plastics in EOL Electronics. Special News and Views Report. Tomado de: <https://www.oecd.org/environment/waste/1805976.pdf>

F. Contreras, S. Ishii, T. Aramaki. Drivers in current and future municipal solid waste management systems: cases in Yokohama and Boston. Waste Manag & Research, 28, (2010), 76–93. Tomado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.846.1040&rep=rep1&type=pdf>

Finaxion, 2018. Encuentra tu crédito. Colombia: Publicación de Finaxion Colombia. Recuperado de: <http://www.finaxion.com/>

Finnovista, 2018. Accelerating Fintech Entrepreneurship. España: Publicación de Finnovista. Recuperado de: <https://www.finnovista.com/>

Fondo Emprender, 2018. Convocatorias. Colombia: Publicación de Fondo Emprender.  
Recuperado de: <http://www.fondoemprender.com/SitePages/Convocatorias.aspx>

H. Zhang, Z.G. Wen, The Consumption and Recycling Collection System of PET Bottles: A Case Study of Beijing, China, Waste Manage, 34, 2014, 987–998.

Heyde, M., Kremer, S., 1999. LCA Packaging Plastics Waste. LCA Documents Vol. 2, No. 5. EcoMed, Landsberg, Germany.

Horvat, N., 1996. Tertiary polymer recycling: study of polyethylene thermolysis and polyethylene oil hydrogenation. Ph.D. Thesis, Chemical Engineering Department, University of Waterloo, Canada.

Horvat, N., Ng, F.T.T., 2005. Tertiary polymer recycling: study of polyethylene thermolysis as a first step to synthetic diesel fuel. Fuel 78 (4), 459–470. Tomado de:  
<https://docslide.com.br/documents/tertiary-polymer-recycling-study-of-polyethylene-thermolysis-as-a-first-step.html>

Innpulsa Colombia, 2018. Ofertas. Colombia: Publicación de Innpulsa Colombia.  
Recuperado de: <https://www.innpulsacolombia.com/es/ofertas>

Juniper, 2005. Pyrolysis and gasification fact sheet. Juniper consultancy group report, Gloucestershire, England. Tomado de:  
[http://www.biomassinnovation.ca/pdf/factsheet\\_juniper\\_pyrolysis&gasification.pdf](http://www.biomassinnovation.ca/pdf/factsheet_juniper_pyrolysis&gasification.pdf)

Kaminsky, W., Schlesselmann, B., Simon, C., 1995. Olefins from polyolefins and mixed plastics by pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 32, 19–27. Recuperado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/016523709400830T/1-s2.0-016523709400830T-main.pdf?\\_tid=0355e4d3-79f6-4f98-b4d3-e700d1b4e716&acdnat=1524704096\\_b4aeaa58dfca9acc2d4189d50b4c6919](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/016523709400830T/1-s2.0-016523709400830T-main.pdf?_tid=0355e4d3-79f6-4f98-b4d3-e700d1b4e716&acdnat=1524704096_b4aeaa58dfca9acc2d4189d50b4c6919)

Kang, H., Schoenung, J.M., 2005. Electronic waste recycling: a review of U.S. infrastructure and technology options. *Resources, Conservation and Recycling* 45 (4), 368–400. Recuperado de:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/336462/mod\\_resource/content/3/Electronic%20Waste%20Recycling.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/336462/mod_resource/content/3/Electronic%20Waste%20Recycling.pdf)

Kato, K., Fukuda, K., Takamatsu, N., 2004. Waste plastics recycling technology using coke ovens. *Journal of Japan Institute of Energy* 83 (4), 248–251.

Kick Starter, 2018. *Empieza un proyecto*. New York: Publicación de: Kick Starter PBC. Recuperado de: <https://www.kickstarter.com/learn>

Kirkby, N., Azapagic, A., Romero-Hernandez, O., 2004. Municipal solid waste management: can thermodynamics influence people's opinions about incineration. In: Azapagic, A., Perdon, S., Clift, R. (Eds.), *Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists*, first ed. Wiley (Chapter 5).

Kowalska, E., Wielgosz, Z., Pelka, J., 2002. Use of post life waste and production waste in thermoplastic polymer compositions. *Polymers & Polymers Composites* 10, 83–91. Tomado de:

<https://www.tib.eu/en/search/id/BLSE%3ARN110142195/Use-of-Post-Life-Waste-and-Production-Waste-in/>

Lei, Y., Wu, Q., Yao, F., Xu, Y., 2007. Preparation and properties of recycled HDPE/natural fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38, 1664–1674. Tomado de:

[http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=453963](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=453963)

Lineru, 2018. Créditos en Línea. Colombia: Publicación de Lineru Colombia. Recuperado de: <https://www.lineru.com/>

Malkow, T., 2004. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. *Waste Management* 24 (1), 53–79.

Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0956053X03000382/1-s2.0-S0956053X03000382-main.pdf?\\_tid=b6540c79-add0-4f9d-80b4-33b993068853&acdnat=1524704881\\_1f7f6bf0f4d7cc199a4fbabf2ec8f4c9](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0956053X03000382/1-s2.0-S0956053X03000382-main.pdf?_tid=b6540c79-add0-4f9d-80b4-33b993068853&acdnat=1524704881_1f7f6bf0f4d7cc199a4fbabf2ec8f4c9)

Mastellone, M.L., 1999. Thermal treatments of plastic wastes by means of fluidized bed reactors. Ph.D. Thesis, Department of Chemical Engineering, Second University of Naples, Italy

Mastral, J.F., Berrueco, C., Ceamanos, J., 2007. Theoretical prediction of product distribution of the pyrolysis of high density polyethylene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 80 (2), 427–438.

Maurya, A. (2012). *Running Lean*. Canadá. Editorial O'Reilly Media, Inc. Recuperado de: <https://danielpandza.files.wordpress.com/2013/01/running-lean.pdf>

McCaffrey, W.C., Brues, M.J., Cooper, D.G., Kamal, M.R., 1996. Thermolysis of polyethylene/polystyrene mixtures. *Journal of Applied Polymer Science* 60 (12), 2133–2140.

Meran, C., Ozturk, O., Yuksel, M., 2008. Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene. *Materials & Design* 29, 701–705. Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0261306907000507/1-s2.0-S0261306907000507-main.pdf?\\_tid=6bec4f97-89d9-4ba3-97a4-3cf95660e496&acdnat=1524706458\\_f0c49181e69aac4542e539cdf7af59a](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0261306907000507/1-s2.0-S0261306907000507-main.pdf?_tid=6bec4f97-89d9-4ba3-97a4-3cf95660e496&acdnat=1524706458_f0c49181e69aac4542e539cdf7af59a)

Mesfix, 2018. *Financiarme*. Colombia: Publicación de Mesfix. Recuperado de: <https://www.mesfix.com/empresas>

Metals and Recycling Company (MRC), 2009. Industrial division fact sheet. State of Kuwait. Tomado de: <http://www.mrckw.com>.

NatureWorks LLC, 2018. *Ingeo In Use*. Estados Unidos: Publicación de Nature Works LLC Company. Recuperado de: <https://www.natureworkslc.com/Ingeo-in-Use/>

Nexcycle Plastics Inc. (NPI), 2009. *Plastic Recycling, Polymers and Resins*. Tomado de: <http://www.npiplastic.com>.

Perdon, S., 2004. Sustainable development in practice: case studies for engineers and scientists. In: Azapagic, A., Perdon, S., Clift, R. (Eds.), *Introduction to Sustainable Development*, first ed. Wiley (Chapter 1).

Pereto Alexandre, Diciembre 2014. *¿Qué es Lean Start Up?* España: Publicación de Unimooc. Recuperado de: <https://unimooc.com/que-es-lean-startup/>

PKA, 2002. PKA Pyrolysis. Tomado de: <http://home.tonline.de/home/PKA.DE>.

Plastic Technology, 1994. Nissan begin recycling painted car bumpers, June, p. 96.

Ray, R., Bhattacharya, P., Chowdhury, R., 2004. Simulation and modelling of vegetable market wastes pyrolysis under progressive deactivation condition. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 82 (3), 566–579.

Recovinyl, 2008. Application covered by Recovinyl. Tomado de: <http://www.recovinyl.com/coveredapplications>.

Refinancia, 2018. Soluciones Especializadas de Crédito. Colombia: Publicación de Refinancia Colombia. Recuperado de: <http://www.refinancia.com.co/>

Ries, E. (2012). *El método Lean Start Up*. United States. Editorial: Crown Business. Recuperado de: <http://library.globalchalet.net/Authors/Startup%20Collection/%5BRies,%202011%5D%20The%20Lean%20Startup.pdf>

S.F. Sidique, F. Lupi, S.V. Joshi, The effects of behavior and attitudes on drop-off recycling activities, *Resour. Conserv. Recycl.* 54, (3), (2010b), 163-170. Tomado de: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0921344909001608/1-s2.0-S0921344909001608-main.pdf?\\_tid=a8271f0d-0583-452a-9112-d1960444b493&acdnat=1524706682\\_95a37b0f88f7c59abe8383efaecb4581](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0921344909001608/1-s2.0-S0921344909001608-main.pdf?_tid=a8271f0d-0583-452a-9112-d1960444b493&acdnat=1524706682_95a37b0f88f7c59abe8383efaecb4581)

Scheirs, J., 1998. *Polymer Recycling: Science, Technology and Application*, first ed. Wiley-Blackwell.

SCRecycling S.A, 2018. Empresa. Colombia: Publicación de SCRecycling. Recuperado de: <http://screcycling.com.co/empresa.html>

Smolders, K., Baeyens, J., 2004. Thermal degradation of PMMA in fluidised beds. *Waste Management* 24 (8), 849–857.

Socya, 2017. Portafolio de Servicios. Colombia: Publicación de Socya. Recuperado de: <http://socya.co/portafolio/wp-content/uploads/2017/08/portafolio2017-web.pdf>

Start Up Stock Exchange, 2016. Raise the Capital you Need with SSX. Deutschland: Publicacion de Start Up Stock Exchange. Recuperado de: <https://www.startup.sx/>

Steiner, C., Kameda, O., Oshita, T., Sato, T., 2002. EBARA's fluidized bed gasification: atmospheric 2 \_ 225 t/d for shredding residues recycling and two-stage pressurized 30 t/d for ammonia synthesis from waste plastics. In: Proceedings of Second International Symposium on Feedstock Recycle of Plastics & Other Innovative Plastics Recycling Techniques, Ostend, Belgium, 8–11 September.

Strapasson, R., Amico, S.C., Pereira, M.F.R., Sydenstricker, T.H.D., 2005. Tensile and impact behaviour of polypropylene/low density polyethylene blends. Polymer Testing 24, 468–473. Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0142941805000061/1-s2.0-S0142941805000061-main.pdf?\\_tid=8e30ef7c-c330-46dc-9a92-792b0df7f6b4&acdnat=1524706886\\_9f0a358071d68483c7cac3d2595bdf80](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0142941805000061/1-s2.0-S0142941805000061-main.pdf?_tid=8e30ef7c-c330-46dc-9a92-792b0df7f6b4&acdnat=1524706886_9f0a358071d68483c7cac3d2595bdf80)

Strategyzer AG, (2018). Business Model Canvas. Switzerland: Publicación de Strategyzer AG. Recuperado de: <https://assets.strategyzer.com/assets/resources/the-business-model-canvas.pdf>

Strategyzer AG, (2018). Value Proposition Canvas. Switzerland: Publicación de Strategyzer AG. Recuperado de: <https://assets.strategyzer.com/assets/resources/the-value-proposition-canvas.pdf>

Toloken, S., 1998. Computers, plastics don't mix well. In: Waste news; June 1st. Tomado de: <http://www.wasterecyclingnews.com/arcshow>.

Tukker, A., de Groot, H., Simons, L., Wiegersma, S., 1999. Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins. European Commission, DG III, Final Report, STB-99-55 Final. Delft, the Netherlands. Tomado de:

[http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pvc/chem\\_recycle.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pvc/chem_recycle.pdf)

Veit, H.M., Pereira, C., Bernardes, A.M., 2002. Using mechanical processing in recycling printed wiring board. Journal of the Minerals, Metals and Materials Society 54 (6), 45–47.

Wong, H.W., Broadbelt, L.J., 2001. Tertiary resource recovery from waste polymers via pyrolysis: neat and binary mixture reactions of polypropylene and polystyrene. Industrial and Engineering Chemistry Research 40 (22), 4716–4723.

Wu, S., Su, M., Baeyens, J., 1997. The fluidized bed pyrolysis of shredded tyres: the influence of carbon particles, humidity, and temperature on the hydrodynamics. Powder Technology 93 (3), 283–290. Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0032591097032683/1-s2.0-S0032591097032683-main.pdf?\\_tid=0039a088-0d2c-4b8b-b375-9112ac83e413&acdnat=1524707168\\_382574a8ea29f5f1e212a565658b3137](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0032591097032683/1-s2.0-S0032591097032683-main.pdf?_tid=0039a088-0d2c-4b8b-b375-9112ac83e413&acdnat=1524707168_382574a8ea29f5f1e212a565658b3137)

Xiao, C., Laurence, A., Biddle, M.B., 1999. Electrostatic separation and recovery of mixed plastics. In: Society of Plastics Engineers (SPE) Annual Recycling Conference (ARC), Dearborn, Michigan (US). Tomado de:

<http://infohouse.p2ric.org/ref/47/46175.pdf>

Yoshioka, T., Gause, G., Eger, C., Kaminsky, W., Okuwaki, A., 2004. Pyrolysis of poly (ethylene terephthalate) in a fluidized bed plant. Polymer Degradation and Stability 86 (3), 499–504. Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0141391004002125/1-s2.0-S0141391004002125-main.pdf?\\_tid=abce8060-22e0-488d-81ad-367e52261482&acdnat=1524707297\\_9604503cebddd32717dae08f6df1a0f5](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S0141391004002125/1-s2.0-S0141391004002125-main.pdf?_tid=abce8060-22e0-488d-81ad-367e52261482&acdnat=1524707297_9604503cebddd32717dae08f6df1a0f5)

Zia, K.M., Bhatti, H.N., Bhatti, I.A., 2007. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. *Reactive & Functional Polymers* 67 (8), 675–692.

Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S138151480700082X/1-s2.0-S138151480700082X-main.pdf?\\_tid=5d5033c3-e2b4-4f88-9430-8e20ee1f6854&acdnat=1524707354\\_91ff8224e768caa2368c76e1431ec02d](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S138151480700082X/1-s2.0-S138151480700082X-main.pdf?_tid=5d5033c3-e2b4-4f88-9430-8e20ee1f6854&acdnat=1524707354_91ff8224e768caa2368c76e1431ec02d)

Zia, K.M., Bhatti, H.N., Bhatti, I.A., 2007. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. *Reactive & Functional Polymers* 67, 675–692.

Tomado de:

[https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S138151480700082X/1-s2.0-S138151480700082X-main.pdf?\\_tid=f360c5ff-8826-49ae-8428-32ed0e04845c&acdnat=1524707430\\_813267a0c16e2214de6ec9c38481c0aa](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.unal.edu.co/S138151480700082X/1-s2.0-S138151480700082X-main.pdf?_tid=f360c5ff-8826-49ae-8428-32ed0e04845c&acdnat=1524707430_813267a0c16e2214de6ec9c38481c0aa)