

**TRABAJO DE GRADO**

**MONOGRAFÍA**

**RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO FUENTE DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA**

**JEHU DAVID GONZALEZ NIÑO**

**JHON ALEXANDER RICO LOPEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
PREGRADO DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**2018**

**MONOGRAFÍA**

**RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO FUENTE DE GENERACIÓN DE**

**ENERGÍA**

**JEHU DAVID GONZALEZ NIÑO**

**JHON ALEXANDER RICO LOPEZ**

**DIRECTOR:**

**M.Sc. Ana María Ardila Álvarez**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**PREGRADO DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## **Agradecimientos**

A Jehová Dios, por darme valor, para con sacrificio y disciplina cumplir con empeño y responsabilidad la meta propuesta.

A mis padres, Héctor y Myrian, por haber puesto en mí, bases, de amor, respeto y honestidad, ya que sin duda, sin estas bases no sería posible crecer como ser humano y obtener estos importantes logros.

A mis hijos, Erik David y Dana Paulina, mi esposa Zaida Ximena Parada, por ser esas personas que me impulsan a salir adelante, sintiéndolos como ese motor que me dan ánimos y razón de hacer las cosas.

A las Ingenieras; Ana María Ardila Álvarez, María Fernanda Domínguez Amorocho, mi compañero de tesis, Jhon Alexander Rico López y otras personas que sin ellas no habría sido posible este importantísimo logro, por esa disposición y aporte realizado, siempre en pro de obtener claridad y aprender al máximo los conocimientos académicos, solo gratitud perenne hacia cada uno de ellos, que Dios nos bendiga.

Jehu David

Primero que todo al que todo lo puede nuestro padre celestial Dios y su hijo nuestro señor Jesucristo, que me dio la oportunidad y puso en mi la sabiduría, salud y fuerzas necesaria para poder cumplir esta meta, a mis padres Orlando Rico, Dolly López mis hermanos y demás miembros de mi familia y compañeros de trabajo con su voz de aliento siempre me apoyaron, a mi amada Policía

Nacional de Colombia que me dio la posibilidad de formarme como uno de sus miembros y posibilitarme los espacios suficientes para llevar a cabo este logro

A la universidad nacional abierta y a distancia (UNAD) que me abrió sus puertas y con esto creo la posibilidad de que pudiera cumplir uno de mis sueños. A todos los tutores que me acompañaron en mi proceso de formación, y en especial a la ingeniera Ana María Ardila y María Fernanda Domínguez por su acompañamiento en el desarrollo de esta última actividad, sus consejos y paciencia fueron un gran aporte tanto a mi como a mi compañero de trabajo Jehu David González Niño a quien le agradezco mucho por ser la persona quien estuvo conmigo en este último esfuerzo y juntos pudimos sacar adelante este sueño. A todos estos les agradezco su valiosa colaboración y sacrificio. Dios los bendiga.

Jhon Rico

## Contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.....</b>	<b>12</b>
<b>CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS .....</b>	<b>13</b>
<b>RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU): .....</b>	<b>13</b>
<b>RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME): .....</b>	<b>14</b>
<b>RESIDUOS PELIGROSOS (RP):.....</b>	<b>14</b>
<b>Alternativas posibles para el tratamiento: .....</b>	<b>17</b>
<b>Alternativas tecnológicas para procesar RSU.....</b>	<b>18</b>
<b>Etapas del proceso .....</b>	<b>23</b>
<b>Factores que influyen en la pirólisis .....</b>	<b>24</b>
<b>Temperatura y velocidad de calentamiento .....</b>	<b>25</b>
<b>Tipo de carbón.....</b>	<b>26</b>
<b>Tipo de reactor .....</b>	<b>26</b>
<b>Presión .....</b>	<b>27</b>
<b>Categorías de los sistemas pirolíticos y sus productos.....</b>	<b>27</b>
<b>Ventajas y desventajas .....</b>	<b>29</b>
<b>Su funcionamiento .....</b>	<b>31</b>
<b>Etapas y reacciones de la gasificación: .....</b>	<b>34</b>
<b>Elementos que intervienen.....</b>	<b>35</b>
<b>Obtención de energía eléctrica .....</b>	<b>36</b>
<b>Otros tipos de reactores operacionales .....</b>	<b>37</b>
<b>COMPOSTAJE .....</b>	<b>41</b>
<b>DIGESTIÓN ANAEROBIA.....</b>	<b>42</b>
<b>Proceso de la digestión anaerobia:.....</b>	<b>43</b>
<b>Productos finales de la digestión anaerobia .....</b>	<b>44</b>
<b>Producción de biogás .....</b>	<b>44</b>
<b>Almacenamiento del biogás .....</b>	<b>45</b>
<b>Uso del biogás .....</b>	<b>46</b>
<b>Biodigestores .....</b>	<b>47</b>

**PROYECTO PLANTA DE MANEJO DE RESIDUSO SOLIDOS PARA LA CIUDAD DE BUCARAMANGA – ECHOPOWER CORPORATION .....51**

**CONCLUSIONES.....53**

**BIBLIOGRAFIA.....54**

## Índice de tablas

<b>Tabla 1. Tecnologías empleadas en la transformación de los recursos.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 2. Cambios y reacciones según cambios de temperatura en Carbón y alquitrán .....</b>	<b>26</b>

## Índice de gráficos

<b>Imagen 1. Esquema de procesos de tratamiento de RSU y productos de Transformación. ....</b>	<b>21</b>
<b>Imagen 2. Esquema de una planta de Pirolisis .....</b>	<b>24</b>
<b>Imagen 3. Esquema general del proceso de Pirolisis .....</b>	<b>28</b>
<b>Imagen 4. Esquema del proceso de antorcha de plasma .....</b>	<b>33</b>
<b>Imagen 5. Diagrama del proceso de gasificación convencional .....</b>	<b>35</b>
<b>Imagen 6. Esquema del proceso de gasificación .....</b>	<b>37</b>
<b>Imagen 7. Gasificadores de corriente ascendente y descendiente .....</b>	<b>38</b>
<b>Imagen 8. Gasificadores de lecho fluidizado .....</b>	<b>39</b>
<b>Imagen 9. Esquema de proceso de compostaje .....</b>	<b>42</b>
<b>Imagen 10. Digestión anaerobia, pasos preliminares .....</b>	<b>43</b>
<b>Imagen 11. Digestión anaerobia. Proceso .....</b>	<b>44</b>
<b>Imagen 12. Diagrama diferentes usos del biogás.....</b>	<b>46</b>
<b>Imagen 13. Esquema de un biodigestor .....</b>	<b>48</b>

## **RESUMEN**

El propósito de esta monografía es explorar nuevas tecnologías que se han descubierto a nivel mundial para la generación de energía utilizando los desechos que se generan y determinar cuál es la metodología existente más acorde y viable para con el medio ambiente transformando estos residuos sólidos en forma de energía.

Se analizó la tecnología que podría ser más viable dentro de varias propuestas presentadas a la Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga (EMAB) en el año 2016, para poder ser implementada como alternativa en el manejo de los residuos sólidos urbanos que se generan en el área metropolitana de Bucaramanga; esta, incluye el proceso de gasificación y sería la propuesta más opcionada para complementar e incluso reemplazar el actual sitio de disposición de basuras que tiene Bucaramanga.

### **Palabras claves:**

Residuos sólidos, Residuos peligrosos, Procesos termoquímicos, Procesos bioquímicos, Combustión, Compostaje, Pirolisis, Gasificación, Arco de plasma, Digestión anaerobia, Biogás.

## **ABSTRACT**

The intention of this monograph is to explore new technologies that have revealed themselves world wide for the generation of energy using the waste that are generated and to determine which is the most identical existing and viable

methodology for with the environment transforming these solid residues in the shape of energy.

There was analyzed the technology that might be more viable inside several offers presented to the Municipal Company of Bucaramanga's Bathroom (EMAB) in the year 2016, to be able to be implemented as alternative in the managing of the solid urban residues that are generated in Bucaramanga's metropolitan area; this one, it includes the process of gasification and it would be the offer more optional to complement and even to replace the current site of disposition of garbage that Bucaramanga has.

**Keywords:**

Solid waste, Dangerous residues, Thermochemical processes, Biochemical processes, Combustion, Composting, Pyrolysis, Gasification, Plasma arc, Anaerobic digestion, Biogas.

## **GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

El vertiginoso crecimiento de las ciudades, la elevada concentración de la población y el aumento del nivel de vida, supone la producción de miles de toneladas de residuos sólidos provenientes de áreas residenciales, industriales y comerciales, del más variado origen y de la más variada composición (Gómez, Monserrat 1995).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), crearon convenios (Basilea-1989) como el convenio de Estocolmo en el 2008 para establecer la disposición general, proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los compuestos orgánicos persistentes y a los efectos nocivos de los residuos peligrosos. Estos convenios fueron suscritos por 179 países incluidos Colombia.

A partir del año 2008, Colombia creó e implementó el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos para la captura de información y gestionar la generación y el manejo de los residuos en las distintas actividades productivas del país.

Según el decreto 838 de 2005 en el capítulo I, se define a un residuo como cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final, además estos se encuentran en estado sólido,

semisólido, así como líquidos y gases, que resultan de las diversas actividades desarrolladas por el hombre (Escobar, J. 2015).

## **CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS**

Existen varias formas de clasificación:

- Respecto a su origen: Están incluidos la generación de residuos en la parte domiciliaria, comercial, industrial, saneamiento básico de empresas de servicios públicos, minería, centros de salud, el área de la construcción y transporte.
- Respecto a la peligrosidad: Según (Escobar, José 2015), residuos peligrosos son aquellos que, en base a sus características de corrosividad, reactividad, toxicidad, inflamabilidad, patogenicidad, carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis, presentan un significativo riesgo a la salud pública o a la calidad ambiental.
- Residuos no peligrosos (Jaramillo, Gladys; 2008), describe sobre a la naturaleza o características físicas: las podemos clasificar en residuos de alimentos, residuos vegetales, papel, cartón, cuero y plásticos.

Según Acurio, 1997 y Siles, 2012 describe una clasificación más conveniente y general para la clasificación de los residuos:

### **RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU):**

Hace referencia a los residuos generados en las actividades domésticas, establecimientos comerciales y de la vía pública, o los que resultan de limpieza de

vías públicas con características domésticas, aquí se incluyen también el sector rural.

### **RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME):**

Son aquellos residuos generados en procesos productivos de característica industrial pero que no se consideran peligrosos y tampoco residuos sólidos urbanos. Aquí se incluyen:

1. Residuos de servicios de salud (se excluyen los biológico-infecciosos).
2. Actividad pesquera, agrícola, forestal, avícola, ganadera.
3. Centros comerciales.
4. Construcción, mantenimiento y demolición.
5. Residuos tecnológicos (industria informática, electrónica), y vehículos automotores.

### **RESIDUOS PELIGROSOS (RP):**

Son los residuos que tienen características identificables de peligrosidad y son: corrosividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o con agentes infecciosos. Se incluyen los envases, empaques o frascos que han sido expuestos con estos agentes.

Cabe resaltar que existen algunos residuos peligrosos que se encuentran en los residuos urbanos como plaguicidas, pilas caducas, medicamentos, entre otros.

Podemos definir y clasificar de muchas maneras los residuos urbanos, su clasificación dependerá de estudios de población y de lo que generen para su posterior tratamiento.

### **SITUACION DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

Según la Organización de las Naciones Unidas, América Latina y el Caribe tendría hasta el año 2010 una proyección de 604 millones de habitantes, teniendo en cuenta la población que comenzó a proyectarse desde el año 1970 de 283 millones de habitantes.

El proceso de Urbanización de América Latina y el Caribe, es uno de los más rápidos del mundo (Acurio, Guido; 1997) se manifiesta en 15 metrópolis consideradas entre las 100 mayores. Las proyecciones indican que las metrópolis se irán estabilizando y las otras ciudades serán las que comenzarán el crecimiento.

A continuación, se muestran algunos datos presentados por el Banco Interamericano de Desarrollo sobre la gestión y manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe (ALC) (2015):

- Aproximadamente un 53% de la población de ALC recibe el servicio de recolección entre 2 y 5 veces por semana, mientras que el 45,4% tiene una frecuencia de recolección diaria y solo el 1,8% recibe el servicio de forma semanal.
- La cobertura del servicio de disposición final adecuada de residuos sólidos urbanos (en rellenos sanitarios) es aproximadamente del 55%, lo cual implica que

aún existe en ALC una alta proporción de residuos que no se dispone y/o trata adecuadamente (45%).

- El porcentaje de municipios que cuenta con planes de manejo de residuos sólidos es de 19,8%, lo que evidencia un bajo nivel de planificación municipal para el sector.
- En materia de reciclaje, se estima que en ALC únicamente el 2,2% de los RSU se recicla dentro de esquemas formales. Muy pocos países cuentan con infraestructura formal para la clasificación de RSU y su reciclaje.
- En ALC la recuperación de materiales reciclables es realizada mayormente por el sector informal, a través de recuperadores/recicladores urbanos, que se estiman en unos 4 millones. La mayoría de los países de la región no dispone de datos oficiales sobre tasas de reciclaje.
- Sólo algunos países que han empezado a implementar metas de reciclaje, como Brasil, tienen cuantificados estos índices para materiales específicos. Para 2012, Brasil reportó índices de reciclaje de aluminio de 97,9%; de reciclaje de papel de 45,7%; y de reciclaje de plástico (PET) de 58,9%.
- Para el tema de aprovechamiento energético de RSU, existe interés en la región en la implementación de este tipo de tecnologías y varios países han establecido evaluaciones preliminares y propuestas de proyecto.
- El proyecto en etapa más avanzada se encuentra actualmente en construcción en Barueri, Sao Paulo (Brasil) y contará con tecnología de incineración de RSU y aprovechamiento energético.

## **GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

La generación de residuos sólidos urbanos en los países de América Latina y el Caribe alcanzó un volumen de casi 540.000 toneladas diarias y la expectativa es que, para 2050, la basura producida en la región llegue a las 671.000 toneladas cada día. Según los datos de la ONU Medio Ambiente presentados en la Asociación Brasileña de Empresas de Limpieza Pública y Residuos (ABRELPE), en São Paulo. (ONU 2016).

Si a estos tipos de desechos adicionamos los comerciales, mercados, instituciones, barrido entre otros, la cantidad se incrementa del 25 hasta el 50%, de 0,5 a 1,2 Kg/hab\*día. Según datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en 16 ciudades de la región con más de 2 millones de habitantes el promedio esta en 0,97 Kg/hab\*día; en ciudades intermedias y de menos de 500,000 habitantes el promedio es de 0,55 Kg/hab\*día. Lo anterior confirma que el tamaño de las ciudades y el ingreso per cápita son factores determinantes para que la generación de residuos por habitante se incremente (Acurio, Guido; Rossin, Antonio 1997).

## **TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS**

### **Alternativas posibles para el tratamiento:**

En los procesos de tratamiento de residuos sólidos urbanos, dependiendo de la tecnología seleccionada pueden obtenerse variedad de residuos reutilizables, pero a su vez puede generar aún más contaminantes.

La primera etapa en el procesamiento consiste en la separación de los residuos en orgánicos, inorgánicos, papel, metales, plásticos, entre otros; la segunda etapa

corresponde a la conversión, generando subproductos (reutilizables y contaminantes).

### **Alternativas tecnológicas para procesar RSU**

Existen varias formas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, estas tienen en cuenta las características físicas, químicas y biológicas que posean los residuos; las transformaciones que ocurran en ellos influirán en la forma y composición final de los residuos.

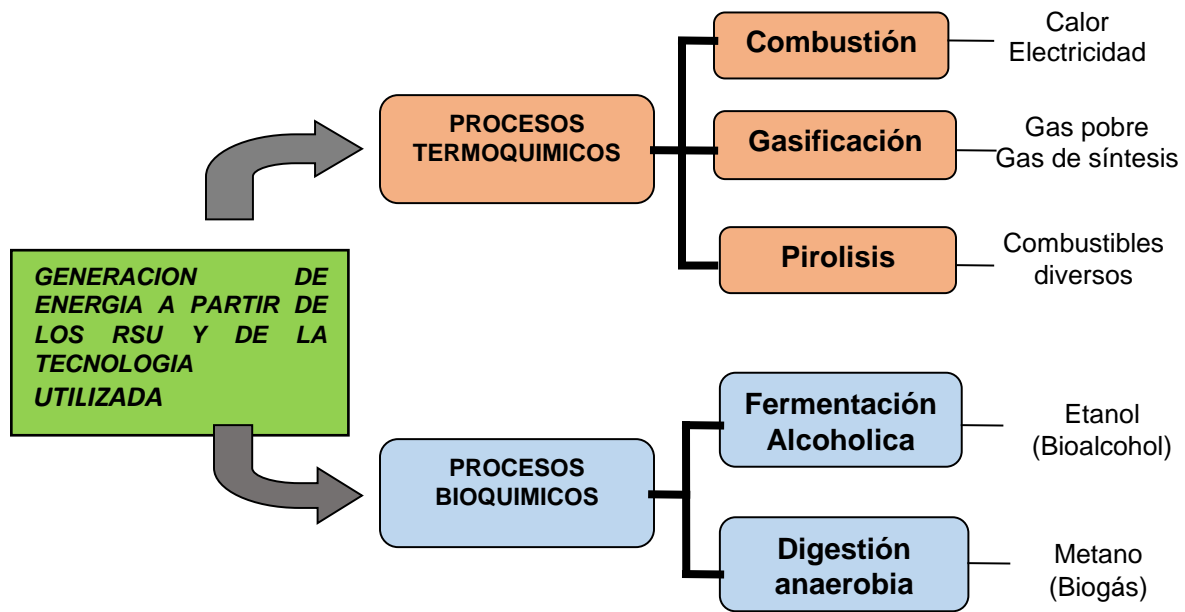
Tabla 1 Tecnologías empleadas en la transformación de los RSU.

PROCESO DE TRANSFORMACION	MEDIO O METODO DE TRANSFORMACION	PRODUCTOS PRINCIPALES DE LA CONVERSION O TRANSFORMACION
<b>Procesos físicos</b>		
Separación de componente	Separación manual y/o mecánica	Componentes individuales encontrados en los residuos urbanos no seleccionados
Reducción de volumen	Aplicación de energía en forma de fuerza o presión	Reducción del volumen original de los residuos
Reducción de tamaño	Aplicación de energía en forma de trituración	Alteración de forma y reducción de tamaño de los componentes residuales originales
<b>Procesos termoquímicos</b>		
Combustión	Oxidación térmica	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) dióxido de azufre (SO <sub>4</sub> ) y otros productos de oxidación
Gasificación	Gasificación con defecto de aire	Un gas de bajo poder calorífico, un combustible que contiene carbono e

		inertes originalmente en el combustible, y aceite pirolítico
Pirolisis	Destilación destructiva	Una corriente de gas que contiene una variedad de gases, alquitrán o aceite y un combustible carbonoso
<b>Procesos bioquímicos</b>		
Aerobio	Conversión biológica aerobia	Compost (material humito utilizado como acondicionador de suelo)
Digestión anaerobia (bajo o alto contenido en solidos)	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), trazas de otros gases, humus o fangos digeridos
Compostaje anaerobio	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), residuos digeridos

Fuente: Montes, María; 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás.

Ilustración 1 Esquema de procesos de tratamiento de RSU y productos de transformación.



Fuente: Revista Innovacencia 2014. Universidad de Santander.

A continuación, se describirán aquellas tecnologías con más relevancia a nivel internacional, y de las cuales se generan los mejores resultados en cuanto al tratamiento efectivo en la transformación de los residuos sólidos urbanos:

## **PIROLISIS**

La tecnología ha abierto la puerta a diversos procesos de transformación de las basuras hacia fuentes como la producción de energía. Así lo explicó Néstor Vela, ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima, durante la conferencia de energías alternativas de 2015 en la Universidad Sergio Arboleda, en Bogotá.

Sacarle provecho a la basura es un reto que han asumido muchas industrias del mundo en los últimos años. Uno de sus objetivos es evitar que los desechos sólidos, que se acumulan en rellenos sanitarios, liberen altas cantidades de gas metano, una causa directa del calentamiento global (Vela 2015), señaló que los desechos de los rellenos sanitarios pueden ser vistos como materia prima para generar energía. Las plantas de pirolisis mediante el uso de altas temperaturas para destruir materiales se están utilizando a escala comercial en países como Estados Unidos.

La pirólisis, consiste en la destrucción de la materia, excepto metales y vidrios, con calor, normalmente entre 600° y 1.200° centígrados, en ausencia de oxígeno (Aguiar, 2015). En este proceso y a estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque de pirólisis”. Las proporciones relativas de los elementos dependen de la composición de los residuos, la temperatura y del tiempo que se aplique al proceso; una corta exposición a altas temperaturas se denomina pirólisis rápida, maximiza el producto líquido; pero si se aplican temperaturas bajas durante periodos de tiempo más largo, predominaran las cenizas sólidas. Para muchos defensores de los nuevos sistemas de tratamiento de residuos, la pirólisis es una técnica nueva, pero en

realidad no lo es, pues se ha utilizado durante siglos en la producción de carbón y también de forma extensiva en las industrias químicas y petrolíferas. (Zurita, 2015).

### **Etapas del proceso**

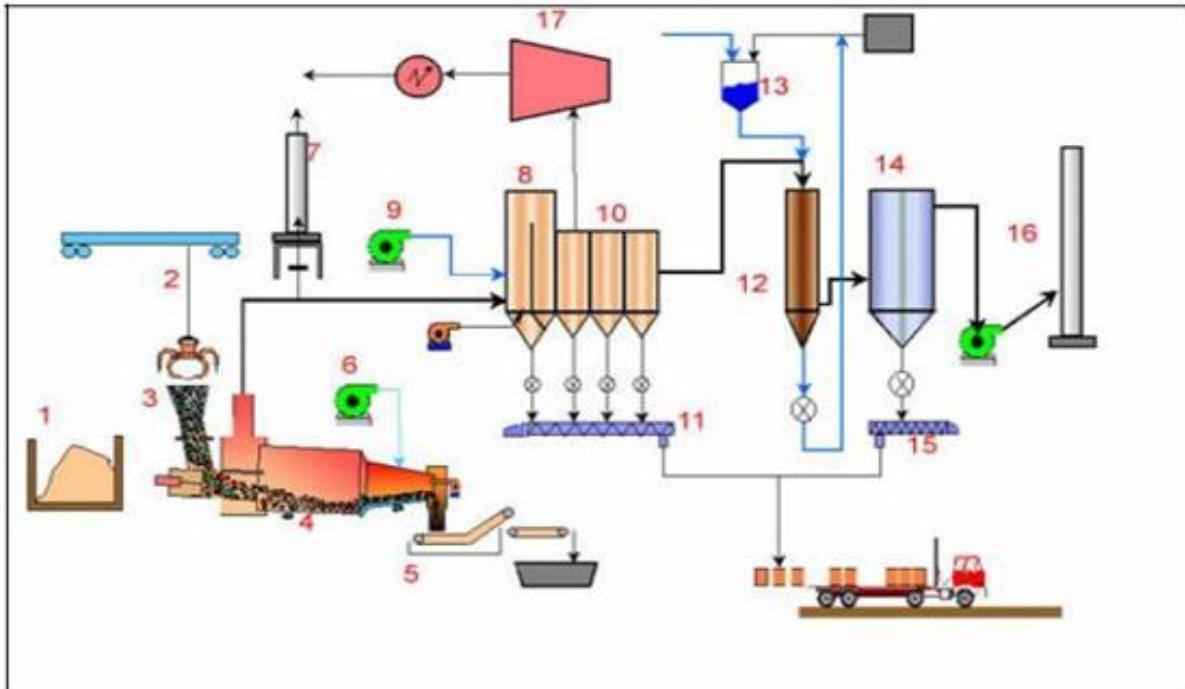
El proceso consta de tres (3), etapas claramente diferenciadas:

1. En esta primera etapa se produce una descomposición lenta con producción de pequeñas cantidades de agua, óxidos de carbono, hidrógeno y metano. Esto como consecuencia de la ruptura de enlaces debido a altas temperaturas a la que se lleva el proceso, y consecuencia también de la liberación de gases retenidos en el carbón.

2. Esta segunda etapa se conoce como descomposición térmica activa. En donde la temperatura aumenta y se produce una fragmentación más profunda de la molécula de carbón con la formación de hidrocarburos condensables y alquitranes. Este proceso y etapa comienza alrededor de los 360°C y finaliza cuando se han alcanzado temperaturas alrededor de los 560°C aproximadamente.

3. En esta tercera y última etapa, la cual transcurre a temperaturas superiores a los 600°C, se caracteriza por la eliminación gradual de hidrógeno y otros heteroátomos.

Ilustración 2 Esquema de una planta de pirólisis.



1-Foso, 2-3Sistema alimentación RSU, 4-Reactor de pirólisis, 5-Extractor de productos sólidos (char), 8-Cámara de postcombustión, 10- Caldera de recuperación, 17-Turbina, 12-15-Sistema de tratamiento de gases, 16-Chimenea.

Fuente: Pyroflam process BS Engeneering.

### Factores que influyen en la pirólisis

Durante el proceso, la cantidad de componentes tanto gaseosos como líquidos y sólidos, pueden variar desde un 25 a un 70% en peso aproximadamente. Esta cantidad depende de una serie de factores y variables que se mencionan a continuación:

## **Temperatura y velocidad de calentamiento**

El carbón sufre una gran variedad de cambios tanto físicos como químicos, cuando se incrementa la temperatura desde el ambiente hasta la temperatura final de su última fase, 1000°C aproximadamente. Si la temperatura de reacción es demasiado baja, las reacciones de descomposición no se producirán con la extensión debida y la obtención de gases y alquitranes será incompleta y, por lo tanto, el rendimiento en estos productos será bajo. Por lo contrario, a temperaturas de reacción altas, se producirán rupturas térmicas de los alquitranes y será por lo tanto pequeño el rendimiento en líquidos (Zurita, 2015).

Pero existe una temperatura idónea en la cual se produce el máximo rendimiento. A continuación, se muestra una tabla con los cambios y reacciones que se llevan a cabo según rangos de temperatura:

**Tabla 2 Cambios y reacciones según cambios de temperatura en carbón y alquitrán**

<b>Temperatura</b>	<b>Cambios</b>
<b>100 °C</b>	Se libera el agua fisisorbida
<b>100 – 250 °C</b>	Descarboxilación térmica de carbones de bajo rango
<b>200 – 400 °C</b>	Pérdida de especies de bajo peso molecular
<b>375 – 700 °C</b>	Destrucción térmica de la estructura del carbón. Formación de metano y otros alcanos, aromáticos y compuestos con nitrógeno
<b>1000 °C</b>	La pirólisis se completa

Fuente: Pyroflam process BS Engeneering

### **Tipo de carbón**

El tipo de carbón influye fuertemente en el comportamiento de la pirólisis. Los carbones de bajo rango (lignitos) contiene oxígeno que durante el proceso de pirólisis se desprenden como agua y óxidos de carbono; los carbones con alto rango (bituminosos) contienen una menor cantidad de oxígeno, por lo tanto, producen un menor volumen de agua y de óxidos de carbono que hidrocarburos gaseosos cuando se pirolizan.

### **Tipo de reactor**

Es otro de los parámetros influyentes en el proceso, el tipo de reactor. Su importancia se basa en aspectos claves como los tiempos de residencia y la transferencia de calor, influyendo en los mecanismos que pueden controlar la

velocidad de la pirólisis. En reactores de lecho fijo, la etapa controlante de la velocidad es la transferencia de calor; esto supone una limitación en la velocidad de calentamiento y un tiempo de residencia elevado. Los reactores de lecho fluidizado se adaptan mejor a los procesos continuos; en ellos la transferencia de calor a las partículas de carbón es muy rápida y pueden alcanzarse altas velocidades de calentamiento.

### **Presión**

La pirólisis en atmósfera inerte a presión reducida aumenta el rendimiento en alquitranes.

### **Tamaño de la partícula**

Influye sobre los mecanismos de transferencia de calor; a mayor tamaño de la partícula, menor velocidad de reacción y menor rendimiento en gases y líquidos.

Otros factores que pueden influir en los procesos, son la presencia de materiales inorgánicos y reacciones secundarias.

### **Categorías de los sistemas pirolíticos y sus productos**

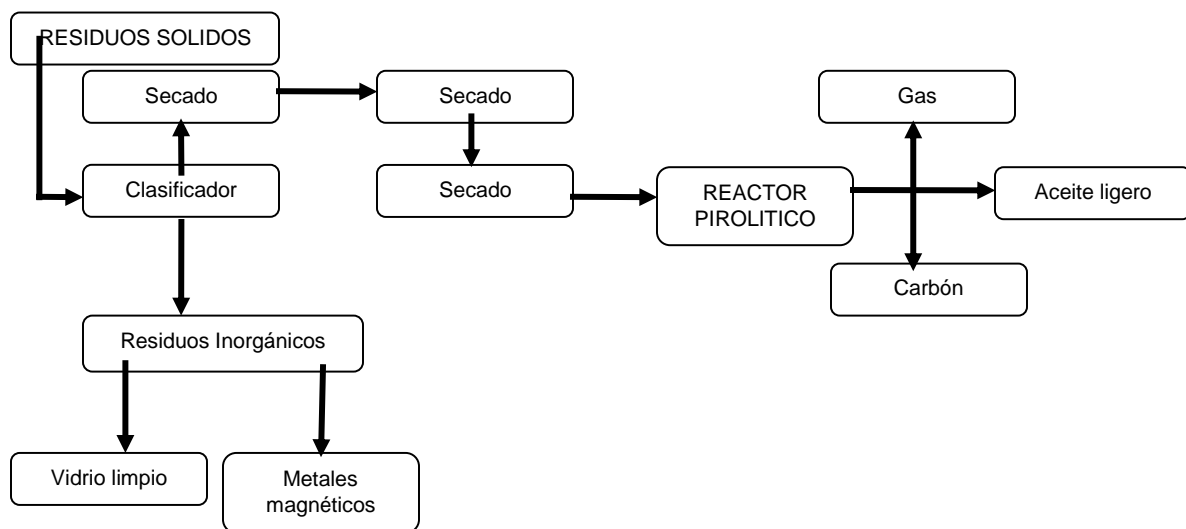
Pirólisis convencional, se puede efectuar a baja temperatura o a temperatura media; estos se emplean para la producción de aceites y alquitranes, en los procesos de temperatura media se obtiene la producción de metano e hidrocarburos superiores.

Pirólisis a alta temperatura, con la cual se logra la producción de gas con bajo poder calorífico.

Pirólisis súbita, opera en tiempos cortos y a muy altas temperaturas, donde se logra obtener material sólido y gas rico en hidrógeno y monóxido de carbón.

Los gases combustibles obtenidos en los procesos, pueden servir para accionar motores diésel, para producir electricidad o mover vehículos.

**Ilustración 3** Esquema general del proceso de Pirolisis.



Fuente: SEDESOL. México.

El proceso de pirólisis rápido es de gran importancia, ya que es un proceso con una alta velocidad de transferencia de calor a la alimentación y un corto tiempo de residuos del vapor caliente en zonas de reacción. Este proceso ha alcanzado un importante éxito comercial en la producción de sustancias químicas y está siendo activamente desarrollado para la producción de combustibles líquidos. Por parte de la pirólisis lenta se produce gas pobre, que puede utilizarse directamente o bien este proceso puede servir de base para la síntesis de un alcohol muy importante,

el metanol el cual podría sustituir las gasolinas para la alimentación de los motores de explosión “carburol”. (Mohr, 1997).

Los resultados de la pirólisis dependen de las condiciones de operación, teniendo en cuenta los parámetros más importantes.

### **Ventajas y desventajas**

#### Ventajas

- Reducción de emisiones a la atmosfera ya que es un proceso cerrado.
- Se genera una fracción líquida fácil de manejar, transportar y almacenar.
- No genera gases contaminantes como óxido de nitrógeno y azufre, los que se producen en la combustión.
- Admite como combustible (alimentación al sistema) material residual de otros procesos.
- El proceso es autosuficiente con respecto a la energía.
- Todos los productos o subproductos generados pueden ser reutilizados (transforma muchos procesos lineales en cíclicos).

#### Desventajas

- La alimentación requiere de pre tratamiento para que se introduzca material homogéneo y con humedad adecuada que no afecte al rendimiento.
- Los hidrocarburos líquidos deben ser sometidos a un proceso de refinado.

- Requiere una alta inversión para la instalación.
- El residuo carbonoso (char) tiene un PCI bajo y debe ser gestionado.
- Requiere operaciones de mantenimiento para las cenizas.
- Altos costos de los hornos pirolíticos.
- Menor rendimiento de los combustibles derivados de la biomasa respecto de los combustibles fósiles.
- La reducción de volumen en la pirólisis es menor a la que se obtiene por combustión directa.
- Para tener en cuenta, una planta para residuos sólidos urbanos importada desde Estados Unidos, con una capacidad de 64 toneladas por día, podría costar alrededor de 17 millones de dólares. Para reducir los costos se podría producir el 70% de la maquina en Colombia, lo que rebajaría el costo a casi 10 millones de dólares.

## **ARCO DE PLASMA**

Los tres estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso; pero existe un cuarto, el plasma, un estado de la materia que consiste en gas a altísima temperatura, varios miles de grados Celsius. En este estado una porción de las partículas están ionizadas, es decir que tienen una carga eléctrica y por lo tanto les falta o sobra uno o más electrones. Un ejemplo bastante conocido de plasma es el que se genera en una reacción termonuclear: las temperaturas llegan a varios miles de grados Kelvin, como lo que ocurre en el sol. Los científicos están trabajando hace años para lograr envasar esta alta energía a través de campos magnéticos y

lograr la tan deseada central eléctrica de fusión nuclear utilizando elementos livianos como el hidrógeno, las actuales centrales son de fusión y utilizan elementos pesados como el Uranio y Plutonio. (Arboleda, 2015).

La gasificación por arco de plasma es un sistema relativamente nuevo que utiliza energía eléctrica y altas temperaturas creadas por un gasificador de arco eléctrico. Este mecanismo divide la basura dentro de un dispositivo llamado convertidor de plasma entre gas elemental y desecho sólido. El proceso está diseñado para ser un generador de electricidad neto (generar más energía del que consume) y simultáneamente lograr reducir la cantidad de basura que termina en los rellenos sanitarios, y aunque parezca de ciencia ficción, las centrales de plasma son una realidad y están siendo probadas en distintos países como la India, Taiwan, Canadá, Inglaterra y Japón, que ya tiene dos centrales operativas de forma comercial.

### **Su funcionamiento**

Un convertidor de plasma es una antorcha aplicada a la basura, que utiliza gas y poderosos electrodos para crear plasma. A altas temperaturas, las moléculas se rompen a través de un proceso llamado disociación molecular y los remanentes son los componentes elementales de las moléculas. El cianuro, por ejemplo, se transforma en átomos de carbono y nitrógeno.

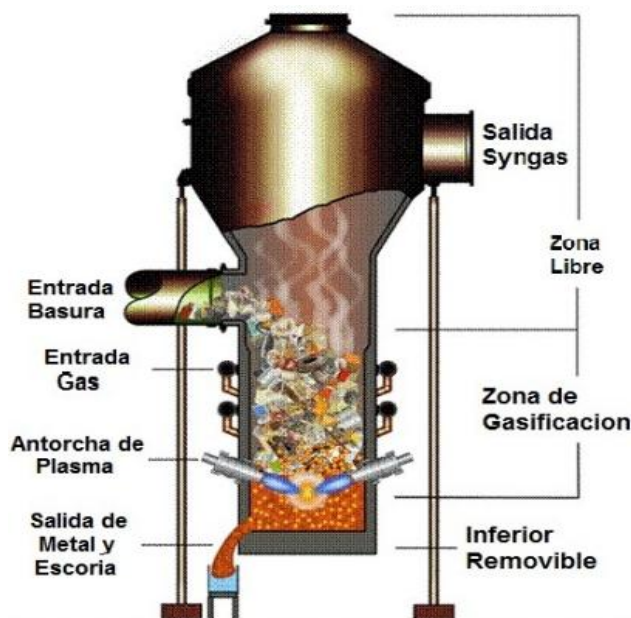
Si bien los componentes de la basura son muy diferentes y variados, el plasma trabaja sobre cada uno de ellos. Las moléculas orgánicas (basadas en carbono) se vuelven volátiles y se transforman en gases (Gazzo, 2007), los componentes

inorgánicos se derriten y se vitrifican creando una sustancia similar a la obsidiana “ígneas volcánicas”, los metales también se derriten y se combinan con el resto de la materia inorgánica creando la escoria. El único desecho incompatible con el plasma es el radiactivo.

A diferencia de los incineradores que utilizan combustión para desintegrar la basura, el plasma no produce oxidación de los materiales (estos no se queman). El calor de los convertidores de plasma provoca pirólisis, un proceso a través del cual se descompone la materia orgánica. Las antorchas de plasma operan en recintos cerrados y herméticos, evitando la combustión que requiere la presencia de oxígeno a diferencia de la pirólisis.

Estos convertidores pueden tratar prácticamente todo tipo de basura, desde desechos medicinales hasta elementos contaminados, transformándolos en gas y escoria. Estos últimos, al ser componentes elementales e inertes, dejan de ser contaminantes y pueden ser luego desechados de manera segura. De acuerdo a la proporción de material orgánico que reciba la planta, variará el porcentaje resultante de gas y escoria. (Cicceri, 2014)

Ilustración 4 Esquema del proceso de antorcha de plasma.



Fuente: Jones International Enterprise

Como se puede observar en la imagen, el calor generado por instalaciones de plasma es grande. El calor de la escoria líquida ayuda a mantener las temperaturas del horno y parte del calor de los gases puede utilizarse para convertir agua en vapor y hacer girar una turbina generadora de electricidad.

Se puede concluir que, como toda nueva tecnología, la lista de desafíos a superar es larga. Lograr generar más energía de la que se consume no siempre es fácil y sobre todo es clave lograr rentabilidad con la venta de electricidad a la red y la venta de escoria en todas sus formas. A su vez, otros desechos se pueden utilizar para fabricar ladrillos y la lana de roca emplearse como aislante. (Arboleda, 2015).

## **GASIFICACION**

Se define a esta tecnología, como las reacciones termoquímicas que ocurren en un ambiente con bajas cantidades de oxígeno, originando así la transformación de un residuo formando gases susceptibles para que posteriormente sean usados en turbinas, calderas o motores. (Junguera, 2010).

El gas inicial se compone principalmente de Hidrogeno ( $H_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y metano ( $CH_4$ ), dependiendo de la temperatura de los procesos se obtiene subproductos como carbón no quemado, alquitranes, cenizas o escorias.

### **Etapas y reacciones de la gasificación:**

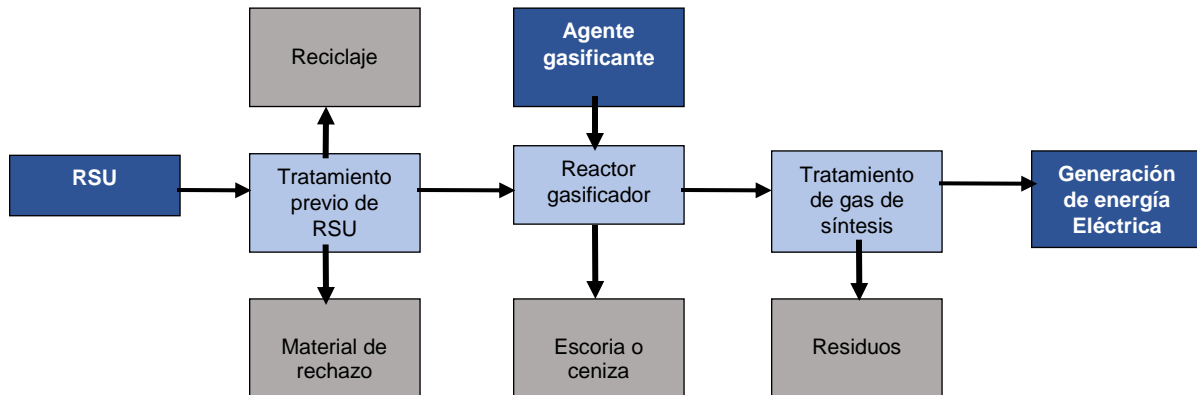
Con independencia del tipo de reactor utilizado en la gasificación, los residuos sólidos urbanos pasan por las siguientes etapas:

- la primera etapa de calentamiento ocurre hasta  $100^{\circ}C$ , que provoca el secado de los mismos por evaporación del agua contenida en ellos, y que absorbe el calor para elevar la temperatura, y por supuesto la evaporación del agua.
- La segunda etapa, también absorbe calor, (pirolisis, ruptura de calor) con rompimiento de moléculas haciéndolas más chicas aquí se origina la fase gaseosa. En esta etapa los componentes más ligeros de los RSU se rompen y se convierten en gas.
- Posteriormente, sigue la oxidación de la fracción más pesada de la biomasa cuando entra con el agente gasificante (Junguera, 2010).

## Elementos que intervienen

Agentes gasificantes: Según el agente gasificante utilizado, se producirán efectos distintos, el producto final (gas de síntesis como se denomina) varía en su composición y poder calorífico.

Ilustración 5 Diagrama del proceso de gasificación convencional.



Fuente:

Universidad Nacional Autónoma de México. Propuesta conceptual de un sistema de gasificación de residuos sólidos urbanos integrado a un sistema de generación de energía. 2011.

La gasificación con vapor de agua u oxígeno, mejoran el tratamiento y rendimiento de la reacción, aumentando la producción de hidrógeno en el gas de síntesis. Definitivamente, es el sistema más adecuado para producir gas de síntesis para generar metanol o gasolina sintética.

## Residuos Plásticos

El proceso de gasificación es la tecnología más efectiva para tratar residuos a nivel mundial. En cuanto al tamaño del residuo, este debe ser homogéneo y muy pequeño para que las reacciones se produzcan adecuadamente a la velocidad correcta. Además, el tamaño de partícula pequeño ayuda a aumentar la calidad del gas de síntesis.

Un tamaño excesivamente pequeño puede hacer que el residuo se atasque en los conductos o que sea arrastrado junto a las cenizas volátiles al exterior del reactor antes de tiempo. Cada gasificador precisa un determinado tamaño de partícula que puede variar normalmente entre 2 a 3 mm.

## Catalizadores

Dependiendo de la tecnología que se use, y de las condiciones que se pretenda gasificar el residuo, se usan variedad de catalizadores para inducir o no las reacciones necesarias para generar algún componente en especial.

## **Obtención de energía eléctrica**

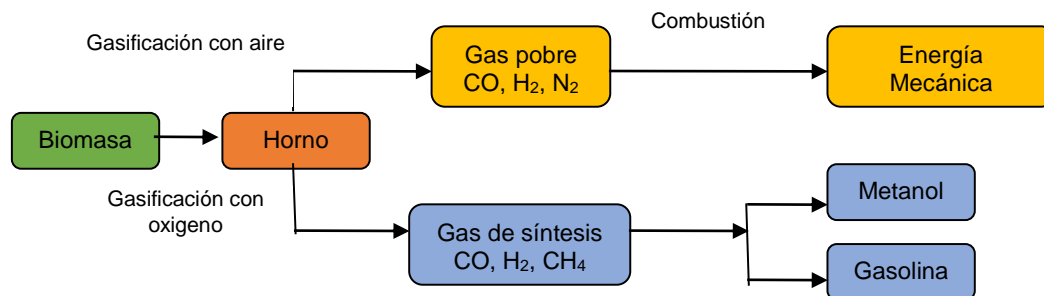
Cuando se obtiene el gas de síntesis, este pasara a un proceso de obtención de energía eléctrica utilizando lo siguiente:

- Turbinas de gas: motor térmico de flujo continuo, puede llegar a alcanzar 40.000 rpm y puede utilizarse para propulsión a reacción o accionar una turbina de potencia en la que se puede acoplar a un generador eléctrico. Sus dos

componentes principales son el generador de gases y la unidad generadora de potencia.

- Sistema de caldera para el quemado del gas y proporcionar calor a un circuito de vapor de agua accionando una turbina de vapor.
- Motor de combustión alterna, el combustible con el que trabajará será el gas de síntesis generado en el proceso. Son llamados usualmente motores de explosión (gasolina) y motores diésel, son motores térmicos cuyos gases hacen girar un cigüeñal para obtener movimiento de rotación. Aquí, los gases de combustión se sustituyen por la nueva mezcla de gases generado en el tratamiento. (Velazco, 2011).

**Ilustración 6** Esquema del proceso de gasificación.



### Otros tipos de reactores operacionales

Se pueden dividir los gasificadores en dos grupos:

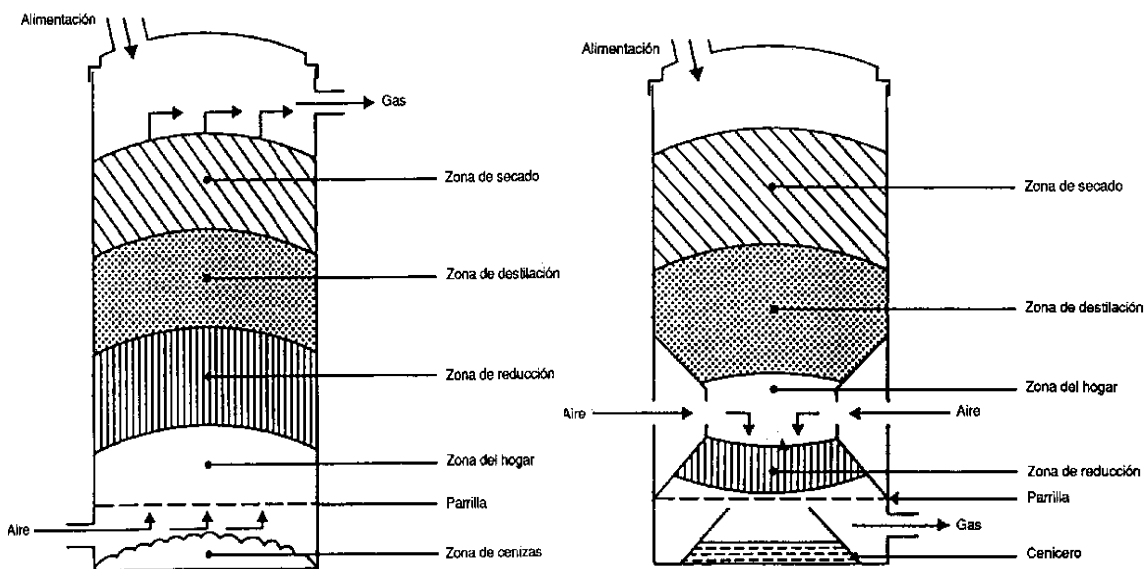
- Directos: El calor que se necesite, se consigue por combustión parcial del combustible.

- Indirectos: El calor que se suministra al reactor se aporta desde el exterior.  
(Velazco, 2011)

En cuanto al tipo de contacto hay tres tipos de gasificadores:

Gasificador de lecho fijo: Tiene un lecho de combustible que se mueve hacia abajo del gasificador por acción de la gravedad mientras se genera la reacción, el gas se adiona en sentido descendente (isocorriente o Downdraft) o ascendente (contracorriente o Updraft), ambos necesitan exigencias de combustible y humedad.

**Ilustración 7 Gasificadores de corriente ascendente y descendente.**

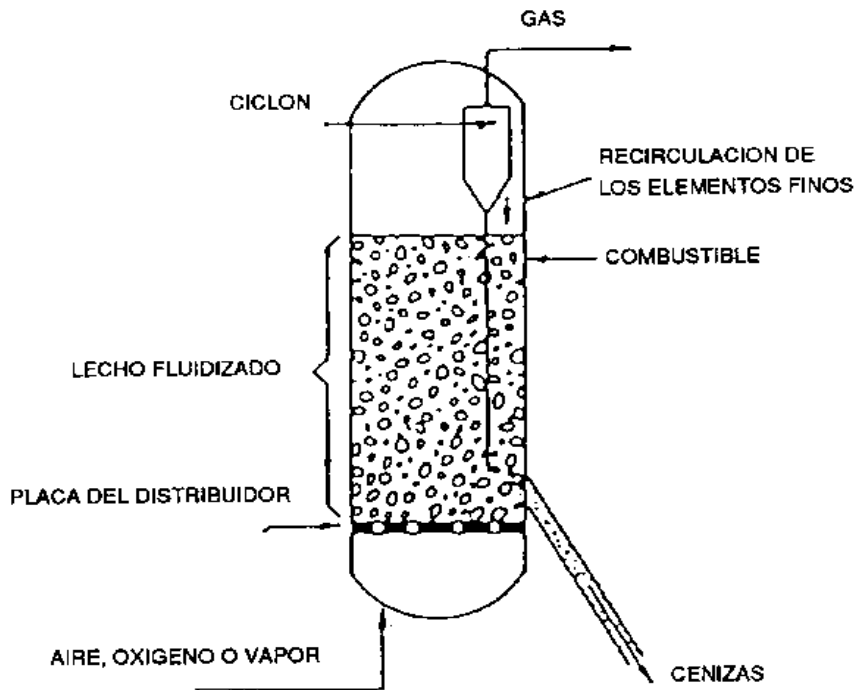


Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Gasificador de lecho fluidizado: Aquí, el agente gasificante mantiene en suspensión al combustible hasta convertirse en cenizas volátiles. El secado, la oxidación, la pirolisis y la reducción tienen lugar en la misma área.

Estos lechos tienen altos niveles de transferencia de masa y energía proporcionando una mezcla compacta. (Hernandez, 2015).

Ilustración 8 Gasificadores de lecho fluidizado.



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Gasificador Rotatorio: Este tipo de gasificador facilita el movimiento de los sólidos, ofrece ventajas como tiempos cortos para el procesamiento de los residuos, y un buen rendimiento térmico debido a la baja temperatura de salida de los gases (Hernandez, 2015).

## TRATAMIENTO BIOLÓGICOS

Todas las sustancias orgánicas que componen los residuos sólidos urbanos se pueden descomponer biológicamente en condiciones controladas, logrando un estado estable permanentemente para poder almacenar y utilizar sin efectos secundarios indeseables.

Existen dos formas de descomposición:

- Aerobia (en presencia de  $O_2$ ), la materia se descompone a  $CO_2$  generando un producto estable en forma de abono orgánico llamado compost.
- Anaerobia (ausencia de  $O_2$ ), se degrada parcialmente la materia a  $CH_4$  y  $CO_2$  (biogás) y estabilizando parcialmente la materia orgánica.

Las dos formas pueden utilizarse independientemente o en forma conjunta, hay sectores industriales donde utilizan la digestión anaerobia en primera instancia para obtener biogás para luego conseguir un proceso de compostaje.

Cualquiera que sea la tecnología utilizada tendrá las siguientes etapas:

- I. PRE-TRATAMIENTO. Se adecuan los RSU, eliminando residuos impropios, trituración, mezcla con aditivos, homogenización y ajuste de humedad.
- II. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.
- III. POST-TRATAMIENTO. Se mejoran las características del producto, clasificar tamaño, eliminación de impurezas, ajuste final de humedad y mezclas con fertilizantes si es el caso. (Acosta, 2005).

## COMPOSTAJE

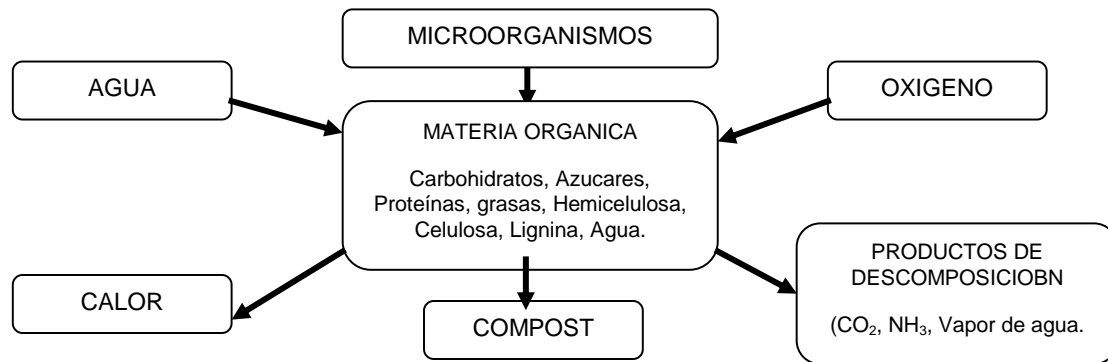
La definición más adecuada del compostaje es la siguiente: *“Descomposición biológica aeróbica bajo condiciones controladas para obtener un producto con una alta calidad y suficientemente estable para su almacenaje y su utilización sin efectos secundarios (compost)”*. (Acosta 2005).

El compostaje se aplica a una gran variedad de residuos: biosólidos (lodos) en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, residuos ganaderos como el estiércol, residuos vegetales de parques y jardines, residuos de industrias agroalimentarias y fracciones orgánicas de los residuos sólidos urbanos.

Para que el compostaje se considere de alta calidad, debe tener las siguientes características:

- Aspecto y color aceptables.
- Higienización correcta.
- Nivel bajo de impurezas y contaminantes.
- Alto nivel de compuestos agrónomicamente útiles como Nitrógeno, Potasio, Fosforo, entre otros.

**Ilustración 9 Esquema del proceso de compostaje.**



Fuente: Documenta Universitaria, Girona (España).

## **DIGESTIÓN ANAEROBIA**

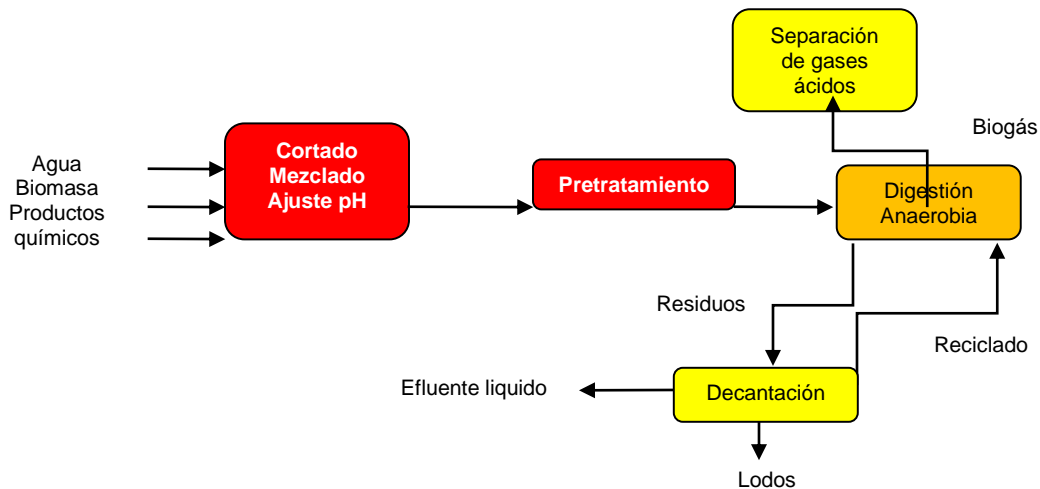
Se define como *“Proceso microbiológico anaerobio (ausencia total de oxígeno) donde la materia orgánica se degrada progresivamente, por una población bacteriana heterogénea, hasta metano y dióxido de carbono”*. (Acosta, 2005).

Este proceso se considera una descomposición catalizada por bacterias específicas. La digestión anaerobia se aplica a cualquier residuo, sin embargo, entre más materia orgánica contenga, mayor será la producción de biogás y más rentable el proceso.

La digestión anaerobia elimina malos olores, estabiliza y mineraliza la materia orgánica, generando biogás y homogeniza la composición del residuo.

Cabe resaltar que este tipo de tratamiento biológico es más delicado que el compostaje, por eso requiere mayor conocimiento en su implementación, controlar más parámetros y su costo es más elevado (Buenrostro, 2000).

### Ilustración 10 Digestión anaerobia. Pasos preliminares.



Fuente: Documenta Universitaria, Girona (España).

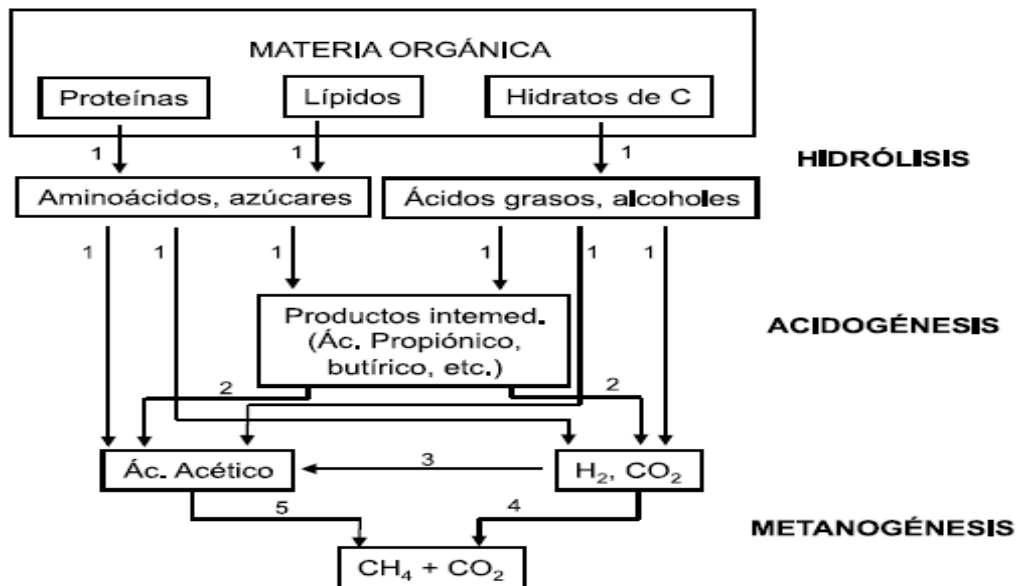
### Proceso de la digestión anaerobia:

El proceso se lleva a cabo en tres etapas diferentes donde intervienen grupos de microorganismos:

1. **Hidrolisis.** Los polímeros orgánicos son degradados por un grupo de bacterias facultativas (pueden tener la capacidad de sobrevivir en condiciones de aerobiosis).
2. **Acidogenesis.** Se degradan sustancias intermedias hasta convertirlas en ácidos grasos o volátiles y alcoholes; en esta etapa también se degradan sustancias hasta convertirlas en ácido acético (acetogenesis).
3. **Metanogénesis.** Aquí se forma el metano gracias a las bacterias metanogénicas, estas son anaerobias estrictas y la formación del metano se realiza a través de las vías metabólicas de la metanogénesis acetoclasticas e hidrogenofila.

Al igual que en el compostaje, todos los factores ambientales que intervienen en el proceso están directamente relacionados con la supervivencia de los microorganismos que intervienen en el proceso, entre los principales factores encontramos: humedad, pH, Poder tampón (buffer), potencial redox, y nutrientes. (Acosta, 2005).

Ilustración 11 Digestión anaerobia. Proceso.



### Productos finales de la digestión anaerobia

El biogás y el efluente estabilizado son los principales productos.

### Producción de biogás

El biogás es una mezcla gaseosa que se obtiene al descomponer la materia orgánica en anaerobiosis, y está constituido por metano (55-65%) y el anhídrido carbónico (35-45%) y en menor proporción, nitrógeno (0-3%), hidrogeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y trazas de sulfuro de hidrogeno; estos compuestos se generan

por la degradación e interacción de los microorganismos en condiciones anoxigénicas. (Montes, 2008).

Se puede llegar a producir entre 400 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida y según las características de los lodos generados.

En un biodigestor, la producción de gas se encuentra entre 0.44 y 0.75 m<sup>3</sup> por cada kilogramo de materia volátil destruida.

### **Almacenamiento del biogás**

Las variaciones de producción de gas en los digestores se amortiguan mediante depósitos de almacenamiento (gasómetros), que pueden ser de diversos tipos, y de baja, media o alta presión. Entre ellos se encuentran:

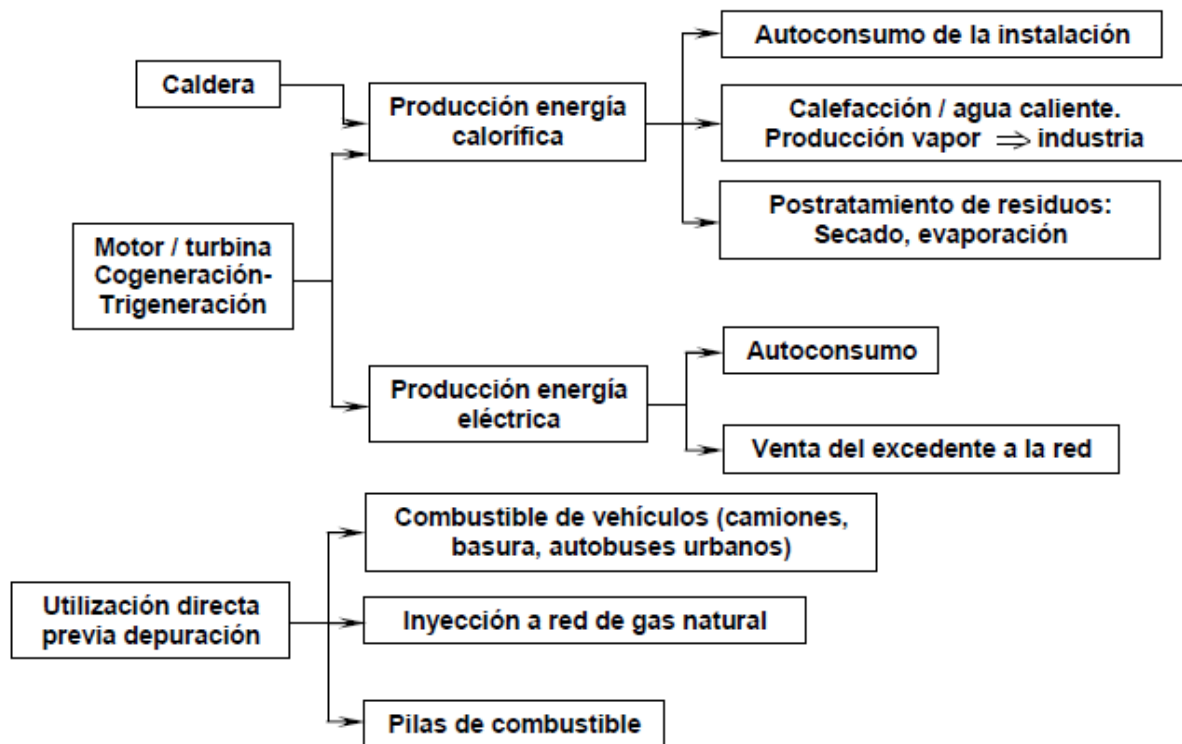
- Gasómetros de baja presión. Entre los más utilizados están los de cúpula o campana flotante sobre depósito de agua, puede alcanzar volúmenes de almacenamiento importantes, aunque no suele sobrepasar los 1500 m<sup>3</sup> La presión normalmente no supera los 50 mbar. Otra opción también muy utilizada son los gasómetros hinchables.
- Tanques de gas de media y alta presión. Son los mismos tanques que se utilizan para almacenar cualquier gas. Se consideran de media presión hasta 8-10 bares, con compresores de una etapa. A presiones superiores se necesitan compresores de varias etapas.

## Uso del biogás

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la **producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos.**

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua (Serrato, 2016).

Ilustración 12 Diagrama de diferentes usos del biogás



Fuente: Montes, María. 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás

## **Biodigestores**

En su forma simple, es un contenedor el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico como excremento, desechos vegetales y cualquier tipo de materia orgánica (exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican). Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. (Montes, 2008).

El objetivo principal de los biodigestores es la transformación biológica de la materia orgánica de los RSU, en un producto estable y el aprovechamiento del biogás y bioabono generado. La fracción orgánica de los RSU contienen normalmente cantidades adecuadas de nutrientes (orgánicos e inorgánicos), para soportar la conversión biológica de los RS.

Los biodigestores se clasifican en continuos y estacionarios o tipo batch. Los continuos se cargan y descargan en forma periódica, por lo general todos los días; los estacionarios son cargados de una vez y se vacían por completo después del tiempo de retención prefijado.

Ilustración 13 Ejemplo de esquema de un biodigestor



Fuente: Revista BioGuía.

### **Ventajas de los Biodigestores**

- Disminuye la tala de bosques al producirse nuevas fuentes de energía, como el gas.
- Evita la contaminación del agua, pues ya no se votaría a los ríos el material Orgánico en descomposición.
- Mejora las condiciones de la vivienda porque se eliminan muchos problemas sanitarios.
- Mejoran las condiciones del suelo, porque se crían microorganismos benéficos.
- Enriquece los terrenos en forma natural y económica con el abono orgánico.

- Reemplazo de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos.
- Disminución de la generación de vectores.

## **MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

En la actualidad se disponen las basuras de 15 municipios del departamento de Santander en el relleno sanitario el Carrasco, estos corresponden a:

Bucaramanga, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Lebrija, El Playón, Rionegro, California, Matanza, Tona, Surata, Charta, Santa Bárbara, Vetas y Zapatoca.

En total los porcentajes de residuos sólidos que llegan al relleno sanitario el Carrasco son de un 88% orgánicos y 12% inorgánicos, en este caso y según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento - RAS, se obtuvieron los diferentes resultados cuantitativos de cada uno de los diferentes residuos analizados, de manera apreciativa y visual de forma muy clara.

**Residuos Orgánicos:** residuos de comida, papel, cartón, cuero, residuos de jardín (ramas, plantas muertas, tierra y arena etc.), madera y misceláneos.

**Residuos Inorgánicos:** vidrio, metal, cerámica, cenizas, residuos especiales y peligrosos (anatomopatológicos y hospitalarios).

El Sitio de Disposición Final denominado El Carrasco Tiene un área aproximada de 79.6 hectáreas y está localizado al sur-occidente de la ciudad de Bucaramanga en los límites con el municipio de Girón y a una altura de 800m sobre el nivel del

mar. El “Carrasco” empezó a ser utilizado en 1.978 como un botadero a cielo abierto en donde los vehículos ingresaban por la vía Provenza-Malpasso y dejaban caer los residuos en la parte baja de la cañada, hoy Cárcava II.

En el año 2015 se dispusieron un total de 342.045.354 Toneladas de residuos sólidos en el relleno sanitario, correspondientes a los Municipios del área metropolitana Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y otros aledaños.

En el sitio de disposición final denominado el Carrasco se dispondrá hasta el 30 de septiembre de 2017 amparado en el decreto de emergencia sanitaria 158 de 2015 donde decreta prorrogar a partir del 1° de Octubre de 2015, y hasta por el término de veinticuatro (24) meses, la declaratoria de existencia de situación de riesgo de calamidad pública que da lugar al estado de emergencia sanitaria y ambiental en el Municipio de Bucaramanga en lo que respecta a la prestación del servicio público domiciliario de aseo en su actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos (EMAB, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior el relleno sanitario cumplió su ciclo y vida útil, por eso se buscan alternativas para su sustitución o remplazo. Ya que se habilitó una cárcava que se encontraba clausurada para disponer actualmente los residuos sólidos urbano RSU.

## **PROPUESTA PARA LA DISPOSICION CON NUEVAS TECNOLOGIAS EN EL RELLENO SANITARIO EL CARRASCO**

### **PROYECTO PLANTA DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS PARA LA CIUDAD DE BUCARAMANGA – ECHOPOWER CORPORATION**

Es un tratamiento térmico el proceso que comprende el calentamiento de los sólidos o las mezclas en estado sólido a temperaturas definidas, manteniéndolas a esa temperatura por suficiente tiempo, seguido de un enfriamiento a las velocidades adecuadas con el fin de modificar sus propiedades físicas y mecánicas.

La gasificación de RSU es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas, usada en el tratamiento de basuras: residuos sólidos urbanos, industriales peligrosos y hospitalarios, entre otros. Tanto la gasificación, como otros procesos de tratamiento de basuras a alta temperatura son descritos o los llamamos como “tratamiento térmico”.

La gasificación se lleva a cabo mediante oxigenación química en exceso de oxígeno. Alguno de los motivos por los que se usa este tratamiento puede ser la destrucción de información o la destrucción de productos o compuestos químicos peligrosos. “Los Productos de la combustión son cenizas, gases, partículas tóxicas y algunas con efectos cancerígenos, así como calor, que puede ser usado para generar energía eléctrica” (Villalobos, 2017)

El objetivo es mediante la gasificación o tratamiento térmico, se pueden tratar los residuos no reciclables ni reutilizables, adicionalmente se convierte en inerte cualquier residuo peligroso minimizando las emisiones al aire y al agua, al igual que destruyen los contaminantes orgánicos y concentran los inorgánicos y minimiza las cantidades de residuos para su almacenamiento o tratamiento. (EMAB, 2016)

## CONCLUSIONES

Existen variedad de tecnologías para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos que pueden usarse para el control y manejo de residuos en cualquier población.

La gasificación se presenta como la metodología más óptima, ya que es de fácil montaje y propone argumentos muy amigables con el medio ambiente.

Con la tecnología de gasificación se pueden tratar todo tipo de residuos sólidos urbanos (RSU), sin generar inconvenientes ni impactos negativos al medio ambiente.

Además de reducirse el impacto al medio ambiente, estas tecnologías tienen la alternativa de generar energía para ser utilizada como un sustituto de la energía convencional a base de fósiles.

Cada municipio debe buscar alguna alternativa para mitigar el impacto producido por los residuos sólidos urbanos, contribuyendo con mejorar los problemas generados por estos desechos al medio ambiente.

Gestionar adecuadamente los residuos sólidos urbanos que genera la población ayudara a un mejor aprovechamiento de ellos y de su potencial para generar energía en centros urbanos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Gómez Delgado, Monserrat. (1995). El Estudio de los Residuos: Definiciones, Tipologías, Gestión y Tratamiento. Serie Geográfica, No. 5, pp. 321 – 42.
2. Escobar Palacio, José Carlos; Rúa Orozco, Dimas José. (2015). Generación de Energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos. La Red Iberoamérica de Energía. pp. 275 – 296.
3. Jaramillo Henao, Gladys; Zapata Marqies, Liliana. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Universidad de Antioquia. Especialización en Gestión Ambiental. Medellín.
4. Siles, Fabián Andrés. (2012). Generación de Energía Electrica a partir de Biogás. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
5. Acurio, Guido; Rossin, Antonio; Teixeira, Paulo Fernando. (1997). Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Publicación Conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington, D.C.

6. Situación de la gestión de RESIDUOS SÓLIDOS en América Latina y el Caribe. (2015). Banco Interamericano de Desarrollo.
7. Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2011). Informe Nacional Generación y Manejo de Residuos o desechos Peligrosos en Colombia – año 2011.
8. Zunta, Daniel; Nuñez, Washington. (2015). Pirolisis y gasificación de residuos sólidos de polietilentereftaleno. Química Central. Col. 4, No. 81:41-55. México.
9. Aguiar, Leonardo; Ramos, Boris. (2015). Proceso de pirolisis rápida de los residuos sólidos de natanja. Influencia de factores en el proceso. Revista Centro Azucar, vol. 42: 39-47. Cuba.
10. Mohr, K.; Nonn, Ch. Y Jaquer, K. (1997). Behaviour of DCD/F, under pyrolysis conditions. Chemosphere34; 1053-1064.
11. Arboleda, Mario. (2015). Tecnología de Plasma para el tratamiento de los residuos sólidos. Revista de Ingeniería, matemáticas y Ciencias de la Información. Col. 2: 33-40.
12. Taboada, González; Aquigal, Q. (2009). La tecnología de plasma y los residuos sólidos. Ingeniería vol. 13: 51-56.

13. Cicceri, Hugo. (2014). Tecnologías Emergentes para el Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos: El Caso del Plasma térmico. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.
14. Gazzo, Romina; Librandi, Víctor. (2007). Tratamiento de Desechos y Aprovechamiento. Universidad de Palermo. Argentina.
15. Junquera, Iván. (2010). Gasificación de Residuos Plásticos para la Producción de Electricidad en Régimen Especial. Proyecto fin de carrera. Universidad Pontificia Comillas. Madrid.
16. Centro tecnológico nacional de la Conserva y Alimentación. (2011). Gasificación. Madrid.
17. Greenpeace. (2008). Informe: Contaminación en España. Madrid.
18. Velasco, Adriana. (2011). Propuesta Conceptual de un Sistema de Gasificación de residuos Sólidos Urbanos integrado a un sistema de generación de energía. Tesis. Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
19. Hernandez, Santiago. (2015). Diseño de una Planta de Gasificación de Residuos Sólidos Urbanos para generación de Electricidad con una pila de Combustible. Trabajo de fin de grado en Ingeniería Química. Universidad de Sevilla.

20. Bonmati, August. (2008). Gestión y tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. Documenta Universitaria. Girona (España).
21. Serrato, Cristian; Lesmes, Verónica. (2016). Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
22. Parra, Brayan. (2014). Producción de Metano a partir de la Digestión Anaeróbica de Biorresiduos de Origen municipal. Trabajo Investigación para optar al título de Magister en Ingeniería. Universidad del valle. Cali.
23. Buenrostro, Otoniel; Cram, Silke, y Bernache, Gerardo. (2000). La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 16: 19-26. México.
24. Acosta, Lorenzo; Obaya, María Cristina. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azucar. Vol. 34: 35-48. La Habana, Cuba.
25. Montes, María Estela. (2008). Estudio Tecnico-Economico de la Digestión Anaerobia conjunta de la Fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos y Lodos de Depuradora para la Obtención de Biogás. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente E.T.S. I. de Caminos, Canales y Puertos.

26. Bogotá, Juliana; Díaz, Sandra; y Ramos Priscila. (2008). Montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado “plaza Kennedy” en Bogotá. Universidad Manuela Beltrán. Bogotá.
27. León, Abigail. (2016). Nuevas Alternativas Tecnológicas para el tratamiento, Disposición y Aprovechamiento de los residuos Sólidos del Municipio de Bucaramanga. EMAB. Bucaramanga.
28. Vela, Néstor. (2015). Conferencia en la Universidad Sergio Arboleda. Bogotá.
29. Yate, Andrea; Fúquene, Diana. (2017). Ver mi compostaje en el manejo de los residuos sólidos urbanos. Grupo de estudio ambientales aplicadas-GEAA. UNAD.
30. Avendaño, Edwin. (2015). Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. Análisis del caso Bogotá D.C., programa basura cero. Tesis para obtener I grado de ingeniero ambiental. UNAD-Bogotá.
31. Camargo, Deisy; Lagos, Ana. (2017). Rediseño e implementación de un modelo de gestión de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A. E.S. P: del municipio de Tunja (Boyacá). UNAD. Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente.

32. Martínez, Hugo. (2014). Diagnosticar el estado actual del manejo de los residuos sólidos ordinarios en la ciudad de Villavicencio, Meta, en el componente de disposición final. Villavicencio-Meta. UNAD.
  
33. Villalobos, Nervis. (2017). Alternativas a la incineración de residuos. Revista Enercia tecnologi & innovation.
  
34. Rodríguez, Viamni; Reyes, Lina. (2014). Proyecto para la creación de una empresa de reciclaje de residuos sólidos inorgánicos "Reci-Llanos". UNAD. Acacias-Meta.