



## OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS

### Energy from organic urban solid wastes

**Calvo-Ramos  
Daniela Kristell,  
Gómez-De la Cruz Alejandra  
y  
Rodríguez-Hernández  
Paola Elideth\*.**

*Maestría de Ciencias de la Energía  
Facultad de Química de la  
Universidad Autónoma de Querétaro*

*\*Correo para correspondencia:  
p-rodriiguez89@hotmail.com*

*Fecha de recepción: 31/08/2015  
Fecha de aceptación: 09/02/2016*

#### Resumen:

La acumulación de residuos es un problema presente en todas las ciudades, que ha crecido al mismo ritmo de las poblaciones. La mala disposición de los residuos sólidos trae consigo problemas que afectan ámbitos sociales, económicos, ecológicos y principalmente de la salud. Esta situación pareciera no tener remedio; al ser el resultado de un estilo de vida fijado por la sociedad; la generación de desechos incrementa día con día. En el presente trabajo se hace una revisión de las posibilidades que se tienen para dar un tratamiento adecuado a los residuos sólidos, con un enfoque especial hacia la generación de energía. La implementación de estas tecnologías puede representar la solución a dos problemas: 1) la reducción de desechos y espacios para su confinamiento; y 2) la generación de energía a partir de residuos fósiles.

#### Palabras Claves:

Bioenergía, reciclaje, residuos sólidos municipales.

#### Abstract:

One of the main problems present in every city is the garbage disposal. The improper disposal of solid wastes brings problems affecting social, economic and environmental, as health fields mainly. This situation does not have solution for being result of a society lifestyle. Everyday the wastes are increasing. This paper shows the possibilities to make a proper use of garbage with special focus on power generation. These technologies could be the solution for two problems: 1) waste reducing and spaces for their confinement, and 2) how to produce energy from organic wastes.

#### Key words:

Bio-energy, municipal solid wastes, recycling.



## I. Introducción

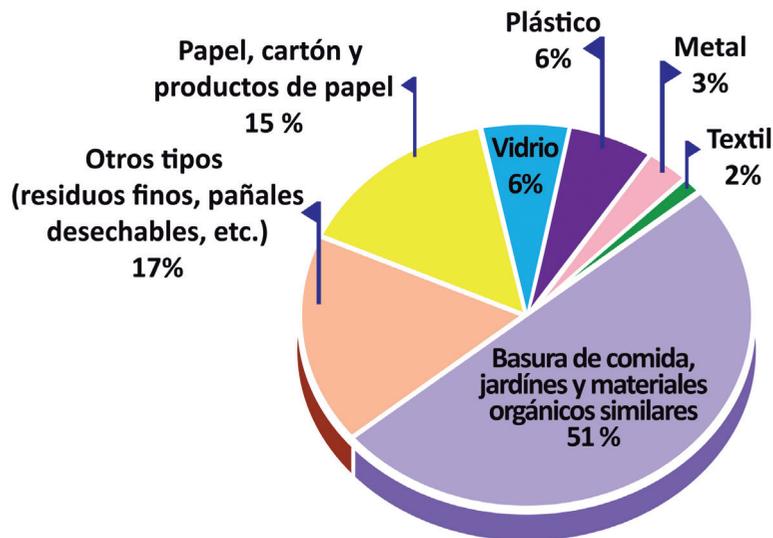
En las grandes aglomeraciones de los países en desarrollo, el manejo inadecuado de los residuos es la causa de una contaminación urbana y de peligro a la salud. El almacenamiento sustentable de los residuos tiene que considerar todas las posibles opciones para la reducción de los impactos negativos de consumo (Ludwing et al., 2003).

Los rellenos sanitarios municipales surgen como respuesta a la problemática generada por la producción de residuos sólidos urbanos debido a su alto impacto negativo sobre los componentes ambientales y el deterioro de la calidad de vida de las comunidades, que se hace cada vez más preocupante por su aumento acelerado, principalmente en las áreas urbanas (Rodríguez et al., 2005).

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, define a un residuo como todo aquel

que elemento o componente que pierde utilidad y que por lo tanto debe ser descartado; de esta forma son originados por la sociedad, en menor o mayor grado, de acuerdo a la actividad económica que desarrolla o al estilo de vida. (SEMARNAT, 2006). La administración de residuos está relacionada con todas las opciones que una sociedad tiene para manejar la transición de alimentos y materiales de manera positiva a negativa (Ludwing et al., 2003).

En los rellenos sanitarios la composición de los residuos sólidos municipales (RSM) depende de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos. En México, poco más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica como se muestra en la figura 1 (residuos de comida, jardines, etc.) (SEMARNAT, 2006).



Composición de los RSM, 2004

Figura 1. Composición de los RSM en México (SEDESOL, 2004).

El problema que se tiene hoy en día es la tendencia de crecimiento poblacional y esto aumenta la cantidad de RSM que son vertidos en los rellenos sanitarios, provocando la contaminación de suelo, agua, aire si no se cuenta con la debida planificación (SEDESOL, 2004).

Otro problema es la ubicación de los rellenos sanitarios, los cuales conforme la cantidad de RSM aumente se necesitará de una mayor área o acortar el tiempo de vida de los rellenos para hacer nuevos, lo cual la última opción se hace complicada debido al problema sociocultural (SEDESOL, 2004).

Un reto significativo es la búsqueda de soluciones apropiadas para la colección, tratamiento y disposición o reúso de los residuos domésticos. La mayoría de residuos orgánicos pueden convertirse en productos valiosos. Dentro de las consideraciones para el manejo, tratamiento y disposición de estos residuos, el conocimiento de su naturaleza y sus características es esencial para la elección de una tecnología apropiada. La recuperación de la energía contenida en los residuos puede llevarse a cabo a través de técnicas físicas, químicas y biológicas (Polprasert, 2007). Se han implementado diversas estrategias para minimizar los RSM que llegan a los rellenos, como es el reciclaje del PET, vidrio, plásticos, metales (ferrosos y no ferrosos), papel, cartón, etc.; también existen procesos que involucran toda la materia orgánica y que pueden ser aprovechados para la producción de calor o combustible.

La Unión Europea (UE) define biomasa como «*La fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo substancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales*». La biomasa se puede aprovechar de dos maneras: quemándola para producir calor o

transformándola en combustible (sólido, líquido o gaseoso).

La bioenergía, que se ha considerado como una alternativa al remplazo de energías fósiles y nuclear, es la acción de generar energía a partir de biomasa; esto incluye un amplio rango de productos como pueden ser combustibles de madera, agrocombustibles y subproductos de origen municipal (Fietcher, 1981; González, 2009). Estos últimos también llamados residuos sólidos se refieren a las formas sólidas o semisólidas de cualquier producto que son descartados por considerarse no útiles o no deseables; incluyen residuos de comida, basura, cenizas, etc; en este caso los residuos de comida que son en su mayoría orgánicos son adecuados para ser reciclados (Polprasert, 2007).

## II. Incineración de biomasa

La incineración es una de las alternativas de importancia creciente en la eliminación de los residuos sólidos urbanos y se define como un proceso térmico que conduce a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno; permite disminuir su volumen hasta en un 90%, aunque genera algunos subproductos gaseosos que, de no manejarse adecuadamente pueden causar contaminación del ambiente (SEDESOL, 2001).

Durante el proceso de incineración, los residuos sólidos reciben un tratamiento térmico en presencia de aire transformándose en constituyentes gaseosos, los cuales se liberan a la atmósfera y en un residuo sólido relativamente no combustible, como se muestra en la figura 2. Durante la combustión se genera lo que se conoce como “calor de combustión”, el cual puede ser aprovechado como fuente de energía para el mismo proceso o para otros como el calentamiento de agua o la generación de vapor (SEDESOL,



2001). Sin embargo, este proceso ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental debido a la formación y emisión de sustancias tóxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados son causantes de daños a la atmósfera. Las disposiciones y normas legales que limitan las emisiones de las incineradoras son cada vez más estrictas de modo que para conseguir su cumplimiento ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías para el sistema de combustión y para el sistema de depuración de gases (Salvador, 2001).



Figura 2: combustión de residuos sólidos

## 2.1 Problemática ambiental

Además de producir cenizas, escorias tóxicas y contaminar las aguas, las incineradoras producen hasta dos veces más gases de invernadero por kilowatio-hora para la generación de electricidad que las plantas de carbón (Simon, 2008).

Los principales contaminantes que se encuentran en los flujos de gases procedentes de la combustión de los residuos sólidos urbanos son: (Sánchez, 2007).

- Óxidos de Azufre ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}$ )
- Ácido Clorhídrico ( $\text{HCl}$ )
- Monóxido de carbono procedente de la combustión incompleta ( $\text{CO}$ )
- Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_{x_3}$ )
- Compuestos orgánicos, entre los que se encuentran dioxinas, furanos, clorofeno-

les y clorobencios.

- Metales pesados, tales como plomo, cadmio o mercurio, que volatiliza tan sólo a  $330^\circ\text{C}$ .
- Partículas sólidas de inquemados.

Los productos citados han de ser eliminados o, en su defecto, minimizados, cumpliendo en todo caso con las normativas vigentes de emisiones contaminantes (Sánchez, 2007).

## 2.2. Sistema de control de contaminantes

### 2.2.1 Cenizas volantes

- *Filtros electrostáticos*. Consiste en hacer pasar la corriente de gas a través de unos electrodos entre los que se establece una diferencia de potencial. Resulta muy eficaz para retirar partículas de diferente tamaño (Sánchez, 2007).
- *Ciclones*. Se usan antes que los precipitadores, para retirar a las partículas más gruesas (mayores de 15 micras). El gas se introduce de modo tangencial en un sistema en el que se forma un ciclón de aire, las partículas chocan contra las paredes y caen al fondo, en donde son recogidas (Sánchez, 2007).
- *Filtro de Mangas*. Son un conjunto de bolsas de tela a través de las cuales entra el gas de combustión, atravesando los poros de la tela reteniendo a las partículas. Son mucho más eficaces para partículas finas (Sánchez, 2007).

### 2.2.2 Gases

- *Sistema seco*: se inyecta un adsorbente en forma de polvo, que captará el gas y que se recogerá en los filtros de mangas.
- *Sistema semiseco*: se inyecta una lechada adsorbente, al contactar con el gas se eva-



pora y actúa como un sistema seco.

- **Sistema húmedo:** se usan torres de lavado en las que se pulveriza el líquido lavador y se pasa el gas a través de un lavado alcalino para ácidos y ácido para alcalinos.
- **Filtros de carbono activado:** Se usan en la etapa final de la depuración de los gases de combustión. El gas se distribuye de manera homogénea por estos filtros y se reducen las dioxinas y furanos, metales pesados, etc. (Sánchez, 2007).

### 2.2.3 Metales pesados

Algunos poseen un punto de ebullición moderado (Hg, Cd) con lo que se volatilizan y son arrastrados por los gases y al enfriarse pueden condensarse como aerosoles en el horno o pueden adsorberse en las partículas de la chimenea. (Sánchez, 2007).

### 2.2.4 Ácidos tóxicos

Los residuos pueden contener restos de Cl, S, N o F, que pueden generar durante la combustión gases tóxicos y corrosivos. Hay dos sistemas para controlar a estos contaminantes. Uno es hacer reaccionar los ácidos con una base, hidróxido de calcio o sosa; y la depuración seca en la que se introducen gotas finas eliminando la producción de lodos, ya que el calor del gas los evapora transformándolos en partículas que son retenidas por el filtro de mangas (Sánchez, 2007).

## 2.3. Tipos de incineradores

Existen dos sistemas de incineración de los residuos sólidos municipales que se diferencian por el requerimiento de tratamiento previo de los residuos. El primer sistema requiere eliminar los elementos no combustibles de los residuos sólidos y además reducir el tamaño de las partículas para su incineración. El segundo, denominado incineración en masa, no tiene estos requerimientos, por lo que la incineración se hace al total de

los residuos sin ningún tratamiento previo (SEDESOL, 2001).

## 3. Biogás (Gas metano)

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales emplea el término biogás para nombrar a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias (Siles, 2012).

El gas metano producido por los rellenos sanitarios puede ser usado para generar electricidad mediante máquinas, turbinas y otras tecnologías, incluso puede ser refinado e inyectado en las redes de tuberías de gas natural (EPA et al., 2011).

En la actualidad estos sitios de disposición de residuos sólidos son considerados fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos como material biológico, gases y otros productos de degradación de desechos orgánicos, constituyendo una importante fuente antropogénica de generación de gases invernadero tales como metano, dióxido de carbono y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV); que son compuestos potencialmente perjudiciales para la calidad del aire y la salud (CONAE). Su producción varía dependiendo de la antigüedad del sitio de disposición, del avance de los procesos de estabilización de los residuos, y de las condiciones ambientales en las que se efectúan (Camargo, 2009).

### 3.1. Condiciones para la producción de biogás

El período de tiempo que se requiere para que los residuos sólidos domésticos se degraden y se produzca biogás dependerá de variables tales como: el número de organismos presentes en la basura, los nutrientes, la temperatura, acidez (pH), el contenido de humedad, la cobertura y la densidad de compactación: (Colmenares y Santos, 2007)



- **Composición de la basura:** A mayor cantidad de restos de comida presentes en la basura más rápido se generará biogás (Colmenares y Santos, 2007).
- **Contenido de humedad:** Es uno de los parámetros más determinantes en un relleno sanitario. Si se aumenta levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente. El clima es uno de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno, y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y el grado de impermeabilidad de la base del relleno (Colmenares y Santos, 2007).
- **Nutrientes:** El proceso de generación de gas se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además esto agrega humedad (Colmenares y Santos, 2007).
- **Mezcla:** En un relleno sanitario, al mezclar la basura se logra poner en contacto a organismos anaeróbicos con su fuente alimenticia. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados (Colmenares y Santos, 2007).
- **Cobertura:** La cobertura periódica y sistemática de la basura evita que ésta entre en contacto con el aire, permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás (Colmenares y Santos, 2007).
- **Compactación:** La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica (Colmenares y Santos, 2007).

Así mismo, cuando la degradación se genera bajo condiciones que no son controladas, el pro-

ceso ocurre en forma aleatoria en la basura depositada y es muy difícil predecir el nivel de biodegradación que ocurre en el relleno (Colmenares y Santos, 2007).

### 3.2 Fases de descomposición de los residuos orgánicos

El proceso de descomposición de residuos orgánicos cuenta con 5 fases para la generación de biogás:

- **Fase I:** Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario; registrando temperaturas entre 35 y 40 °C (Camargo y Vélez, 2009).
- **Fase II:** Aeróbica, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos reduciendo significativamente el pH (Camargo y Vélez, 2009).
- **Fase III:** Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano, que en condiciones adecuadas actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas (Camargo y Vélez, 2009).
- **Fase IV:** Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano en volumen (Camargo y Vélez, 2009).
- **Fase V:** Estabilización, la producción de metano comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema (Camargo y Vélez, 2009).

### 3.3 Drenaje del biogás

El gas de relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarlos solamente por los orificios previstos. Se logra una



mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos (Jaramillo, 2002).

### 3.3.1 Drenaje pasivo sin chimenea

En un relleno compactado, el gas de relleno se mueve con preferencia horizontalmente en las capas de basura. Se difunde por la capa superficial del cuerpo de basura o por los taludes laterales, se mezclan con el aire y se diluyen figura 3. La cubierta con tierra tiene un impacto como filtro biológico, antes de que se mezclen con la atmósfera (Jaramillo, 2002).

Dibujo 25: Capa de compost sirviendo como filtro biológico

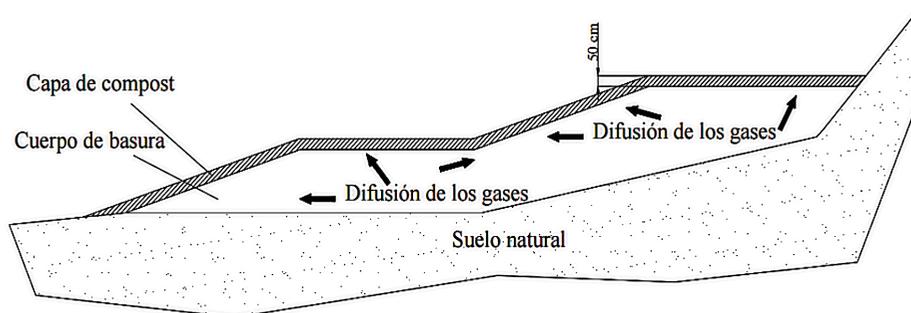


Figura 3: Capa de compost sirviendo como filtro biológico (Jaramillo, 2002).

### 3.3.2 Drenaje pasivo con chimenea

Aquí se aprovecha la difusión horizontal del gas de relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera figura 4. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí (Jaramillo, 2002).

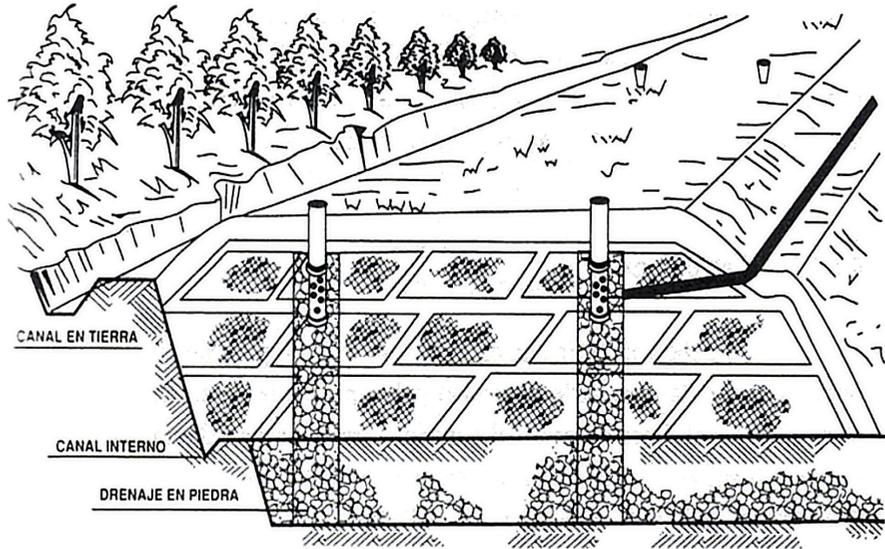


Figura 4: Colocación de chimeneas (Jaramillo, 2002).

#### 4. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual materiales complejos orgánicos son descompuestos en componentes más simples usando enzimas en ausencia de oxígeno. Los polímeros de los carbohidratos, lípidos y proteínas son transformados en simples monómeros (e.g. azúcares, glicerina y ácidos grasos, aminoácidos) y subsecuentemente en biogás principalmente en metano y dióxido de carbono (Khanal et al., 2010).

Este proceso consiste en una serie de pasos bioquímicos mediante distintos grupos de microorganismos. Generalmente, existen tres principales grupos de bacterias: La bacteria fermentativa, la bacteria acetogénica y las metanógenas. Cada una de ellas desarrolla una acción específica en el proceso general, descrito por los siguientes cuatro pasos: (1) hidrólisis (licuefacción/solubilización), (2) acidogénesis, (3) acetogénesis, y (4) metanogénesis.

##### 4.1. Factores que afectan la digestión de residuos alimenticios

Distintos factores afectan el diseño y rendimiento del proceso de digestión anaerobia, algunos de ellos son: las características de los residuos, el diseño del reactor y las condiciones de operación (Khanal et al., 2010).

##### 4.1.1 Características de residuos alimenticios

Las características físicas y químicas de los residuos alimenticios, son importantes para el diseño y operación de un digestor anaerobio, ya que afectan

significativamente la producción de biogás y la estabilidad del proceso. Algunas características son: el contenido de humedad, sólidos volátiles, contenido de nutrientes, tamaño de partícula, composición, biodegradabilidad, radio carbono/nitrógeno, etc (Khanal et al., 2010).

#### 4.1.2. Co - digestión

Es una opción efectiva para mejorar el rendimiento del biogás debido al efecto sinérgico positivo, establecido a la mitad de la digestión y el suministro por parte de los co-sustratos de los nutrientes faltantes (Khanal et al., 2010).

#### 4.1.3. pH

El pH varía en respuesta a la conversión biológica durante los diferentes procesos en la digestión anaerobia. Un pH estable es indicador de un sistema en equilibrio y estabilidad en el digestor. Sin embargo, la mayoría de bacterias productoras de metano pueden funcionar óptimamente en un intervalo muy estrecho de pH de 6.7 a 7.4 (Khanal et al., 2010).

#### 4.1.4. Temperatura

La digestión anaerobia es fuertemente afectada por la temperatura y puede ser clasificada con base en:

- *Sicrofílica* (0 - 20°C).
- *Mesofílica* (20 - 42°C) La temperatura óptima para el digestor mesofílico es 35°C, a la cual las bacterias son más robustas y pueden tolerar grandes cambios en las condiciones ambientales.
- *Termofílica* (42 - 75°C) Permite mayores velocidades de carga y logra una mayor tasa de destrucción de patógenos y degradación del sustrato. Sin embargo, se requiere más energía para calentar la materia prima a la temperatura del reactor, lo que lo hace menos atractivo desde el punto de vista energético (Khanal et al., 2010).

#### Tiempo de retención Hidráulica

Es determinado por el tiempo promedio que toma la digestión del material orgánico y es usado para medir la velocidad del flujo de sustrato dentro y fuera del reactor. Está en el rango de 14-30 días para los procesos anaeróbicos más secos (contenido de sólidos arriba de 20%) y puede ser de hasta 3 días para procesos anaeróbicos húmedos (contenido de sólidos por debajo de 20%) (Khanal et al., 2010).

### 5. Gasificación

La gasificación es una tecnología antigua usada para la producción de energía a partir de materiales sólidos. De manera general, es la conversión de un material de carbono a un producto gaseoso con un valor de calentamiento usable para la producción de energía (Khanal et al., 2010; Young, 2010).

Un proceso típico de la gasificación de residuos sólidos municipales es la obtención del gas de síntesis (Syngas). Los materiales de carbono u "orgánicos" de los residuos sólidos municipales, son procesados en una atmósfera deficiente de oxígeno con calor para producir syngas que comprende mayormente monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>) (Khanal et al., 2010). Los componentes químicos complejos, son rotos con calor para producir moléculas más simples y termodinámicamente estables de CO e H<sub>2</sub>. Los materiales inorgánicos o "minerales" son convertidos en rocas sólidas tales como escoria, escoria vitrificada o ceniza (Young, 2010).

#### 5.1. Usos del gas de síntesis (syngas)

A continuación se mencionan usos potenciales del gas de síntesis, que pueden derivar de compuestos químicos simples como lo son el CO e H<sub>2</sub>.



### 5.1.1. Producción de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a partir de syngas vía síntesis química.

La mayor parte de amoníaco producido es usado en fertilizantes en la forma de urea o sales de amonio (nitratos, sulfatos y fosfatos). Una pequeña fracción de amoníaco es usada en la manufactura de compuestos orgánicos para la industria de plásticos y en la producción de explosivos (hidracina, nitrilos, etc). Cerca del 50% de  $\text{H}_2$  obtenido de la síntesis de gas es usado para la producción de  $\text{NH}_3$  (Young, 2010).

### 5.1.2. Producción de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) a partir de syngas vía síntesis química

El metanol es usado en diferentes industrias y productos de consumo como textiles sintéticos, plásticos, pinturas para el hogar, adhesivos, cojines de espuma y medicinas. La mayor parte de metanol actualmente se obtiene a partir de syngas. La síntesis catalítica de metanol vía syngas se realiza a presión y temperatura altas, se trata de una reacción exotérmica y de eficiencia de 99%. El proceso se inicia con un gas de síntesis limpio, retirando primeramente el  $\text{CO}_2$  y recuperando el producto final (metanol) por destilación (Young, 2010).

### 5.1.3. Producción de Gas natural sintético (SNG) a partir de syngas vía síntesis química.

El gas natural sintético consiste predominantemente en metano ( $\text{CH}_4$ ). El proceso de gasificación de SNG se lleva a cabo con syngas crudo ( $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ ) a una proporción de alrededor de 3.5, el cual es aceptable para la metanización produciendo reacciones exotérmicas catalíticas. El gas de síntesis crudo contiene compuestos de azufre como  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$  y  $\text{CS}_2$  (Young, 2010).

### 5.1.4. Producción de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) a partir de syngas vía síntesis química

El hidrógeno cubre un amplio rango de las industrias como el petróleo, comida, química, metales, refinería y electrónicos. La producción de  $\text{H}_2$  es el mayor uso del syngas y es consumido principalmente en la producción de  $\text{NH}_3$ , seguido por la producción y refinación de metanol (Young, 2010).

### 5.1.5. Producción de etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) a partir de syngas usando el proceso Fisher – Tropsch.

Los residuos sólidos pueden ser gasificados a syngas y después convertirlos a combustibles como etanol, metanol o una mezcla de ambos por síntesis de Fisher – Tropsch. Una opción es el uso de un gasificador de arco de plasma para producir el gas de síntesis (Young, 2010).

Un proceso termoquímico como el Fisher – Tropsch es aquel en donde se llevan a cabo reacciones de polimerización, utilizando catalizadores como cobalto o hierro. Se requieren presiones y temperaturas altas. Este proceso convierte gas de síntesis catalítico en compuestos orgánicos, mayormente alquenos lineales y alcanos (Maitlis & Klerk, 2013).

## 5.2. Tipos de gasificadores

Existen tres principales tipos de gasificadores:

- **De lecho móvil:** La materia prima es alimentada por la parte superior del reactor y el flujo es empujado hacia abajo por gravedad. Las cenizas salen por la parte inferior del reactor; el agente oxidante se alimenta en contracorriente.
- **Lecho fluidizado:** Utilizan partículas más pequeñas como alimentación, tiene un flujo ascendente del agente oxidante, implementan portadores de calor sólidos con el



fin de aumentar la transferencia de calor. Facilita un flujo de alimentación alta, se puede controlar fácilmente la temperatura y son capaces de ser presurizados. Sin embargo, sólo convierten el 95 – 97% de carbón.

- *Flujo de arrastre:* El agente oxidante y la materia prima son alimentados en co-corriente. Funciona a altas temperaturas y las partículas son de un tamaño considerablemente reducido. Produce pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y alquitranes; provee una buena conversión de carbón (Khanal et al., 2010).

## 6. Conclusiones

El área de producción de energía a partir de los residuos sólidos municipales es muy grande y se puede potenciar su fabricación poniendo especial atención al diseño de los rellenos sanitarios en México y a la separación adecuada de los residuos; con el objetivo de cumplir con la normatividad establecida.

Como se mencionó en el artículo, existen distintos tipos de tecnologías para la producción de energía a partir los desechos municipales; este tipo de alternativas son importantes, ya que podemos solucionar distintos problemas aprovechando los residuos generados, que cada día van en aumento; a su vez se disminuye la contaminación atmosférica, utilizando estos recursos para beneficio la sociedad.

La correcta disposición de residuos es un tema que depende de la sociedad en general. En México aún falta más investigación sobre este tema, sin embargo es un trabajo de sociedad y gobierno el poder llegar a implementar estas tecnologías y así crear energías que puedan ser amigables con el medio ambiente.

## Resúmenes curriculares:

**Daniela K. Calvo-Ramos** Ingeniero Ambiental por la Universidad Politécnica de Chiapas. Actualmente es estudiante investigador de la Maestría en Ciencias de la Energía de la UAQ realizando su investigación de grado en “Síntesis de Dióxido de Titanio y su aplicación” bajo la supervisión de la Dra. Sandra A. Mayen Hernández.

**Paola E. Rodríguez-Hernández** Ingeniero Químico Industrial por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es estudiante investigador de la Maestría en Ciencias de la Energía de la UAQ trabajando en “Crecimiento de películas delgadas de Sulfuro de Indio por técnica de baño químico para aplicaciones fotovoltaicas flexibles” bajo la dirección del Dr. Francisco J. de Moure Flores.

**Alejandra Gómez-De la Cruz** Ingeniero Químico por parte del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Es estudiante investigador del programa de Maestría en Ciencias de la Energía de la UAQ. Su tesis de grado es “Modelación e Intensificación del proceso de producción de bioturbosina” dirigida por la Dra. Claudia Gutiérrez Antionio.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) así como al departamento de posgrado de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro y la coordinación del programa de Maestría en Ciencias de la Energía.

## Referencias bibliográficas:

- Camargo, Y. y A. Vélez. 2009. Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, Colombia.
- Colmenares, W y K. Santos. 2007. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. [http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno\\_sanitario](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario).
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía



- (CONAE-México). Guía de Gestiones para Implementar una Planta de Cogeneración en México. Disponible en: [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2109\\_guia\\_de\\_gestiones\\_pa](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2109_guia_de_gestiones_pa)
- Environmental Protection Agency (EPA); Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza México-USA y Asociación Internacional de Administración de Ciudades y Condados Latinoamericanos (ICMA), 2011. Guía para el aprovechamiento del gas metano en rellenos sanitarios. México, D.F: Autor.
- Fletcher, A. (1981). *Bioenergy*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- González, A. M. (2009). Producción de bioenergía en el norte de México: tan lejos y tan cerca... *Frontera Norte*, 21, 177-183.
- Jaramillo, J. 2002. Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales (en Pequeñas Poblaciones). Colombia: Universidad de Antioquia, en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (no publicado).
- Khanal, S. K., Surampalli, R. Y., Zhang, T. C., Lamal, B. P., Tyagi, R. D., & Kao, C. M. (2010). *Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Ludwing, C., Hellweg, S., & Stucki, S. (2003). *Municipal Solid Waste Management (First)*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-04482-7
- Polprasert, C. (2007). *Organic Waste Recycling - Technology and Management (Third Edit)*. London, UK: IWA Publishing.
- Rodríguez G.S., Sauri R.M. Peniche A.I. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería Revista Académica*, 9(3):19-29.
- Salvador, Arturo. 2001. *Incineración de residuos sólidos urbanos*. Universidad Complutense de Madrid: Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas.
- Sánchez, Alberto. 2007. *Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con recuperación de energía*. Madrid. España: Universidad Pontificia Comillas.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2004. *Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas*. México: Autor.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2001. *Manual Técnico-Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal*. México: Autor.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. *Diagnostico básico para la gestión integral de residuos*. (1ra. Ed.). México: INE-SEMARNAT.
- Siles, Fabián. 2012. *Generación de energía eléctrica a partir de producción de biogás*. México, D.F: Instituto Politécnico Nacional.
- Simón, Joan. 2008. *Incineración de residuos urbanos en el s xxi. Solución o problema*. Quezon: Residuos Magazine.
- Young, G. C. 2010. *Municipal Solid Waste To Energy Conversion Processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..