



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA CARRERA DE BIOLOGÍA

ANÁLISIS DE ENTORNO DEL MERCADO DEL BIOGÁS
OBTENIDO DE LOS RSU PARA SU USO COMO ENERGÍA
TÉRMICA DOMÉSTICA EN LA ZMCM

T E S I N A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:

GÓMEZ ARTEAGA GISEL LETICIA

DIRECTORA DE TESINA:
BIÓL. LETICIA LÓPEZ VICENTE



2015

México, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
I. MARCO TEÓRICO	5
1. Administración estratégica.....	5
1.1. Análisis de entorno.....	6
2. Mercado	8
3. Residuos	9
3.1. Residuos sólidos urbanos	11
3.1.1. Gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos	12
4. Rellenos Sanitarios	17
4.1. Reacciones que se generan dentro de un relleno sanitario	17
4.2. Subproductos de las reacciones dentro de un relleno sanitario	18
5. Biogás	20
5.1. Características del biogás	22
5.2. Etapas de producción de biogás	23
5.3. Factores que afectan la formación de biogás	26
5.4. Purificación y usos del biogás	27
6. Biogás como energía térmica	28
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
III. JUSTIFICACIÓN.....	30
IV. OBJETIVO GENERAL	31
1. OBJETIVOS PARTICULARES	31
V. MÉTODO	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
1. Generación y manejo de los residuos en la Ciudad de México y la Zona Metropolitana (ZMCM)	33
2. Análisis de entorno	44
2.1. Entorno económico	44
2.1.1. Proyectos de aprovechamiento y empresas económicamente activas	53
2.2. Entorno complementario	55
2.2.1. Biogás y otros tipos de energía térmica doméstica.....	66
2.2.2. Ventajas y desventajas del uso del biogás como energía térmica doméstica	74

VII. CONCLUSIÓN.....	79
VIII. RECOMENDACIONES	80
IX. REFERENCIAS	81
ANEXO 1 Ejemplos destacados de plantas de biogás en el mundo.....	94

RESUMEN

El biogás es una energía renovable, producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica –en este caso, de la fracción orgánica de los RSU-, que tiene un poder energético suficiente para la generación de electricidad y calor. Por ello representa una fuente de oportunidades para generar mercados y cadenas productivas formales. Con intenciones de que este potencial sea aprovechado en la ZMCM, es necesario conocer los factores externos que influirían sobre este posible mercado. Esta información es obtenida a través de un análisis del entorno. En este documento se describieron sólo los factores generales: económico, sociculturales, políticos-administrativos y tecnológicos. Se obtuvo que en la ZMCM el 20% de los RSU son residuos orgánicos, por tanto se podría obtener de 307,584 a 768,960 m³ diarios de metano aproximadamente, además de una porción extra que podría adquirirse de lo que hoy es destinado a la composta. Así también se observó que en México existen apoyos financieros y respaldos legislativos sobre las energías renovables. Se concluyó que es necesaria la reestructuración y ajuste de los procesos de gestión de residuos en la ZMCM y la inclinación por el cumplimiento de las normas y planes de acción gubernamentales, en conjunto con un mejoramiento en la educación ambiental de los generadores de residuos para que dicho mercado pudiera desarrollarse. Desde el punto de vista general de este análisis, el biogás es una alternativa a los combustibles fósiles y es factible que se pueda utilizar en la ZMCM.

INTRODUCCIÓN

La energía es una necesidad básica del ser humano además de ser un factor importante para el crecimiento económico de un país puesto que es esencial para todas las actividades productivas (Estrada, *et al.*, 2013a). La energía que más se utiliza actualmente por usuarios finales proviene de fuentes fósiles en 91.6% (Fernández, *et al.*, 2012). Últimamente, las importaciones de algunas de estas fuentes de energía han enfrentado una enorme volatilidad en sus precios al público, lo que genera una incertidumbre sobre la evolución futura de los mismos y sobre su influencia sobre la economía de los países. Las energías limpias permiten contar con nuevas alternativas de generación de electricidad y calor con el fin de evitar el agotamiento de los recursos no renovables y con ello estabilizar los costos y potencializar la dinámica económica (Panesso, Cadena, Mora-Florez y Ordoñez, 2012). La Secretaría de Energía (SENER) indica que México cuenta con una alta capacidad potencial de desarrollar energías renovables (Fernández, Martínez y Osnaya, 2002). Es así como el biogás, siendo el contenido energético que se obtiene mediante la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los desechos, se posiciona como una alternativa de suministro de energía para el país considerando que se tiene que mejorar la gestión integral de los residuos. Este gas puede ser utilizado como fuente de energía eléctrica o como una fuente de energía de combustión limpia mediante una sencilla adaptación de los equipos (Valle y Ortega, 2012). Mediante un análisis del entorno económico del mercado de biogás en la Ciudad de México y la Zona Metropolitana (ZMCM), donde se genera una vasta cantidad de desechos en un área territorial relativamente pequeño, se pretende revelar el

potencial del biogás como fuente de oportunidades para generar mercados y cadenas productivas formales (Villaseñor *et al.*, 2013; Buenrostro y Rocco, 2003).

I. MARCO TEÓRICO

1. Administración estratégica

Administración estratégica es el arte y ciencia de formular, implementar y evaluar las decisiones interfuncionales que permiten a una organización alcanzar sus objetivos. En este proceso la actividad más destacable es la toma de decisiones. Para una adecuada y acertada toma de decisiones, se tiene que obtener la máxima información, que se conseguirá tras efectuar una serie de pasos (fig.1). Para llevar a cabo esta administración, la organización prepara planes estratégicos para después actuar conforme a ellos. Se formulan estrategias para las operaciones que se realizarán diariamente, para poder así cumplir las metas y objetivos. El primer paso es conocer con exactitud el tipo de negocio al cual nos dedicaremos. El segundo es el diagnóstico de la empresa, el cual nos ayudará a conocer la posición competitiva de la misma (situación actual que tiene la empresa en sí misma y frente a la competencia) y a la formulación de la estrategia (decisión a largo plazo) adecuada. Este diagnóstico se divide en dos partes: el análisis externo o de entorno y el análisis interno (Sainz, 1993; UDLAP, s/f).

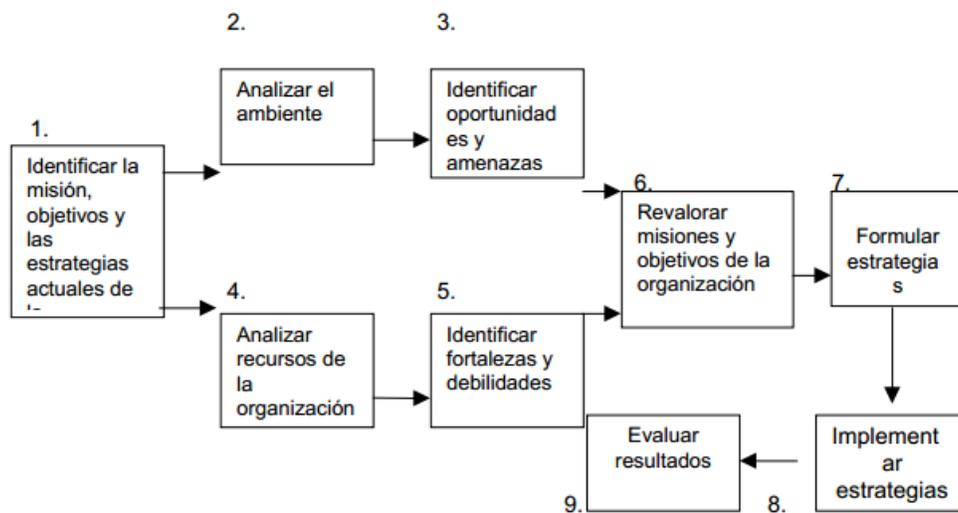


Fig. 1. Proceso de planeación estratégica de una empresa (UDLAP, n/d).

1.1. Análisis de entorno

El entorno es todo aquello que es ajeno a la empresa, es decir, es el conjunto de actores y fuerzas externas que, siendo parcial o totalmente incontroladas, son susceptibles de afectar al proceso de intercambio con los mercados-meta (Montoya, 2005).

Conocer lo que sucede en el ambiente externo es de suma importancia ya que así la empresa estará preparada para enfrentarse a las dificultades que se presenten. En el análisis de entorno se encuentran y clasifican las variables, las cuales pueden influir en la toma de decisiones. Este análisis proveerá detalles de los problemas del futuro y oportunidades para nuevos éxitos. Proveerá también una imagen detallada de la situación a la que se enfrenta la organización. El entorno puede dividirse en general y específico, y a su vez el general se divide en: factores sociales, económicos, tecnológicos y político-administrativos.

- **Sociales:** Cada país es diferente y tiene su propia forma de pensar, lo que provoca un impacto en el mercado y por ende en las ventas de productos y servicios. Incluyen la demografía, el estilo de vida, las estructuras domésticas, el mercado del trabajo, el índice de competitividad social, los sindicatos, los grupos sociales, étnicos y religiosos, los valores, actitudes, normas de vida y creencias (cultura), la defensa del consumidor.
- **Económicos:** Son los factores que determinan la economía y sus condiciones, y que pueden determinar la dirección en que la economía se mueve. Se incluyen las tasas de inflación, las tasas de interés, las políticas fiscales, los impuestos aduanales que afectan las importaciones y exportaciones, la oferta de factores (disponibilidad de los recursos productivos: mano de obra, capital, materias primas, productos intermedios), la política económica: políticas de oferta y de demanda.
- **Tecnológicos:** Estos factores son analizados para entender como reaccionaran los consumidores a las tendencias tecnológicas y como las usarán para su beneficio. Los cambios en la tecnología se suscitan cada minuto, por tanto las compañías necesitan estar conectados a dichos cambios en pro de actualizarse e integrarse al mercado como y cuando sea necesario. Se incluyen la política y presupuesto de investigación y desarrollo, los procesos y métodos productivos, las nuevas tecnologías, los conocimientos científicos y tecnológicos, la infraestructura científica y tecnológica.
- **Político-administrativos:** Son los factores que toman en cuenta la situación política del país y del mundo con relación a dicho país. Se incluyen el contexto

político, la legislación económico-administrativa, fiscalidad, las políticas de impuestos y cada tarifa comercial (Sainz, 1993; Cadle, Paul y Turner, 2010).

En el modelo de planeación estratégica, la revisión del ambiente externo incluye también la evaluación de oportunidades y amenazas (UDLAP, s/f).

2. Mercado

Se refiere a las transacciones comerciales de un cierto tipo de bien o servicio, en cuanto a la relación existente entre la oferta y la demanda de dichos bienes o servicios. Es la evolución de un conjunto de movimientos a la alza y a la baja que se dan en torno a los intercambios de mercancías específicas o servicios y además en función del tiempo o lugar. El sistema de mercado se basa en el intercambio, lo que implica que para obtener los bienes y servicios deseados se debe dar a la otra parte los que ésta a su vez requiere o desea (Montoya, 2005).

Los residuos son sustancias u objetos abandonados o descartados en forma permanente por quien los produce. Esto no significa que los materiales que contienen no puedan ser vueltos a utilizar o bien convertirse en materias primas para la elaboración de otros productos (Timm, 2013); si se manejan correctamente, pueden ser transformados en un recurso de mercado (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

3. Residuos

Los residuos han existido siempre sobre la Tierra, pero desde el mismo momento en que comienzan a acumularse en el medio ambiente ya sea por la velocidad con la que se generan o por la naturaleza química de estos, haciendo que se dificulte su descomposición e incorporación a los ciclos naturales, entonces comienzan a ser un problema ambiental (Fernández y Sánchez, 2007).

Es imprescindible hacer notar la diferencia entre el término desecho y residuo. Cuando se utiliza el vocablo *desecho* sugiere que el material es inútil y no deseado. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de la República Mexicana (LGPGIR) define a los *residuos* como aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (LGPGIR, 2014). Muchos de éstos pueden volverse a utilizar y así transformarse en un recurso para la producción industrial o generación de energía, si se maneja correctamente (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

La LGPGIR (2014) distingue cuatro tipos de residuos:

- **Residuos de manejo especial.** Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos (RSU), o que son producidos por grandes generadores de RSU. En estos están incluidos los residuos de rocas o productos de su descomposición para la fabricación de materiales de

construcción, mantenimiento y demolición, residuos de servicios de salud, residuos de las actividades pesquera, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas, residuos de los servicios de transporte, lodos de tratamiento de aguas residuales, residuos de tiendas departamentales o centro comerciales generados en grandes volúmenes y residuos tecnológicos.

- **Residuos incompatibles.** Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.
- **Residuos peligrosos.** Aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.
- **Residuos sólidos urbanos.** Aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes, o empaques. Son los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

3.1. Residuos sólidos urbanos

Los RSU son un problema que se incrementa con el paso del tiempo dado el crecimiento poblacional, falta de acciones de reciclaje y mayor consumo, entre otras (Cortinas, Díaz, Jiménez y Mendoza, 2013).

En sentido general, la composición de los residuos sólidos urbanos puede estar determinada por:

- *Las características de la población que los genera:* la urbana, la rural, la turística, la industrial, etc.
- *La época del año en que se generan:* En tal sentido, la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.
- *El nivel cultural y económico de la población que los genera:* las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas.

La caracterización de los residuos es la clave para su manejo y disposición responsables. (Fernández y Sánchez, 2007). Las características que comúnmente son utilizadas para dimensionar las instalaciones, equipo de recolección, estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y rellenos por mencionar algunos, son: generación per cápita, peso volumétrico y composición (Cortinas *et al.*, 2013).

Estos residuos pueden subclasificarse con objeto de facilitar su separación primaria – entre orgánicos e inorgánicos- y secundaria – entre inorgánicos y los susceptibles de ser valorizados-:

- **Orgánicos:** residuos de jardinería y los provenientes de poda, residuos de la preparación y consumo de alimentos y residuos susceptibles de ser utilizados como composta.
- **Inorgánicos:** vidrio, papel, cartón, plásticos, aluminio y otros metales no peligrosos, artículos de oficina y utensilios de cocina, equipos eléctricos, ropa, textiles, residuos sanitarios y pañales, y otros no considerados como de manejo especial (LGPGIR, 2014).

Este tipo de residuos constituyen la mayor cantidad de residuos generados en las comunidades. Su recolección, manejo y disposición consumen alrededor de la tercera parte de los recursos invertidos por el sector público para abatir y controlar la contaminación (SEMARNAT-INE, 2001). Su componente principal son los residuos domiciliarios. Con el fin de generar mejores y más limpias condiciones de vivienda para la población, este tipo de desechos precisa de un sistema periódico de recogida para su tratamiento en los vertederos municipales (Juhasz, Magesan y Naidu, 2004).

3.1.1. Gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos

La gestión de los residuos sólidos se compone de todas aquellas actividades asociadas a la disposición de los productos después de ser desechados, incluyendo también las

acciones para minimizar la producción de estos residuos (Gahssemi, 2002). La gestión de los RSU es un conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, protección de la salud pública, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región. Por tanto, las disciplinas que están vinculadas en este proceso incluyen la administración, finanzas, abogacía, arquitectura, planeación e ingeniería (Tchobanoglous y Kreith, 2002; LGPGIR, 2014).

La LGPGIR indica que es necesario un plan de manejo para minimizar la generación y maximizar la valorización de los RSU, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR), diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (LGPGIR, 2014).

Un sistema integral de manejo de residuos consiste en la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión adecuados para llevar a cabo actividades como la reducción de residuos en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento,

transporte y disposición final de residuos (Tchobanoglous y Kreith, 2002). Estas actividades realizadas individualmente o combinadas deben ser apropiadas para alcanzar los objetivos y metas según las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (LGPGIR, 2014). Económicamente este sistema integral genera: ingresos económicos, disminución de gastos de transporte y alargamiento del tiempo de vida de los materiales y de los rellenos al disminuir la cantidad de materia prima natural (Seoáñez *et. al.*, 2000). Para llevar a cabo este manejo integral, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos (SEMARNAT y GF, 2009) y el Diagnóstico Básico de Gestión Integral de Residuos (DBGIR) (Cortinas *et al.*, 2013) mencionan que las siguientes fases componen este proceso: generación y almacenamiento domiciliario, barrido y recolección, transferencia, transporte, selección y aprovechamiento, tratamiento y disposición final. El transporte se lleva a cabo entre cada una de las etapas hasta que los residuos llegan al sitio de disposición final. Deberá efectuarse en vehículos habilitados y debidamente acondicionados a manera de garantizar una adecuada contención de los residuos y evitar su dispersión en el ambiente. Esta fase es de suma importancia debido a los costos e infraestructura. El orden de acción de las etapas del proceso de manejo integral de residuos es el siguiente:

1. **Generación y almacenamiento domiciliario (o temporal).** Generación se refiere a la actividad productora de residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo. La modalidad mediante la cual los residuos son

depositados es el almacenamiento temporal y este puede ser general, cuando no existe separación en origen, o diferenciada, cuando existe separación en origen.

2. Barrido y Recolección. Involucra el barrido, acopio y la carga de los residuos domiciliarios y de vías públicas en los vehículos recolectores. Al igual que la fase de transporte, es una de las actividades de mayor importancia por lo que a costos y disponibilidad de infraestructura corresponde.

3. Transporte

4. Transferencia. Se refiere al almacenamiento transitorio y/o acondicionamiento de residuos para su transporte. Esta actividad se lleva a cabo en instalaciones especialmente diseñadas, denominadas Estaciones de Transferencia. Su objetivo principal es incrementar la eficiencia del servicio de recolección.

5. Transporte.

6. Selección y aprovechamiento. Es el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

7. Transporte

8. Tratamiento. Involucra todas las operaciones por las cuales los residuos son tratados para minimizar los impactos ambientales, son valorizados para maximizar su aprovechamiento así como también su acondicionamiento para una disposición final adecuada. Involucra procesos físicos, químicos, biológicos o térmicos cuya elección dependerá de los beneficios ambientales y sociales esperados y las limitaciones económicas existentes.

9. Transporte

10. Disposición final. Se refiere a la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (LGPGIR, 2014, SEMARNAT y GF, 2009; Cortinas *et al.*, 2013, NOM-083-SEMARNAT-2003). Para el depósito de los RSU en México, existen tres tipos de instalaciones:

- ✓ *Relleno de tierra controlado.* Es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización. Cuenta parcialmente con inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento.
- ✓ *Relleno de tierra no controlado.* Es un sitio inadecuado de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en la NOM-083. Aquí son vertidos y mezclados diversos tipos de RSU, absolutamente sin control ni protección al ambiente.
- ✓ *Relleno sanitario.* Es un sitio de disposición final que se diseña y opera para minimizar los impactos en la salud pública y el medio ambiente (Ramírez, Cuautle y Méndez, 2013).

4. Rellenos Sanitarios

Es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicionales, los impactos ambientales (NOM-083-SEMARNAT-2003). Los rellenos sanitarios pueden asegurar la protección de la salud pública y el medio ambiente, el reto es asegurar el buen diseño y un monitoreo apropiado una vez que son clausurados (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

4.1. Reacciones que se generan dentro de un relleno sanitario

Los RSU depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

- **Cambios físicos.** Están incluidos la compactación de los residuos, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada. El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema ya que la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras,

lo que permite el ingreso de agua de lluvia al interior del relleno sanitario, lo que provoca mayor generación de gases y lixiviados y además se producen hundimientos y asentamientos diferenciales en la superficie y desestabilización de los terraplenes por la ganancia de peso de la masa de desechos.

- **Reacciones químicas.** Se incluyen la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de residuos, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos que produce lixiviados y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas.
- **Reacciones biológicas.** Están asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos y son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios (Bonmatí, 2008).

4.2. Subproductos de las reacciones dentro de un relleno sanitario

Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

Líquido lixiviado o percolado

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales

domésticas, pero mucho más concentrado. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los RSU. Por ello, es importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado, de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos (Jaramillo, 2002).

Gases

Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos, no sólo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas:

- ✓ **En condiciones aerobias** (en presencia de O₂), una vez que los residuos son cubiertos con oxígeno, la materia orgánica se va degradando directamente a CO₂, estabilizando la más recalcitrante, y obteniendo un producto estable con alta calidad como abono orgánico o composta (Bonmatí, 2008).

- ✓ **En condiciones anaerobias** (en ausencia de O₂) degradando parcialmente la materia orgánica a biogás -CH₄ (55-75%), CO₂ (30-45%) y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico (1-2%)- y estabilizándola parcialmente (fig. 2) (Bonmatí, 2008).

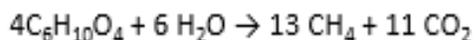


Fig. 2. Reacción química que ilustra la generación de biogás (Villanueva et al., 2014)

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen y además es el segundo gas de efecto invernadero de larga duración más importante ya que retiene el calor 23 veces con más efectividad que el CO₂. Los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión (fig. 3) (OMM, 2013; Bonmatí, 2008).



Fig.3. Diagrama de riesgo a causa del flujo de los gases en el ambiente (Villanueva et al., 2014)

5. Biogás

El nombre biogás se deriva principalmente porque proviene de la degradación de la materia orgánica, también llamada biomasa (Tchobanoglous y Kreith, 2002). En general, todo tipo de biomasa que contenga carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa o hemicelulosa, puede ser utilizada como sustrato para producir biogás. Es importante tomar en cuenta los siguientes puntos en el momento de seleccionar la biomasa (Deublein y Steinhauser, 2011):

- El contenido de sustancia orgánica tiene que ser apropiado para el proceso de fermentación anaeróbica.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica, y el potencial para la formación de gas, tendrá que ser el más alto posible.
- El sustrato tendrá que estar libre de patógenos y otros organismos; de haberlos, tendrán que transformarse a inocuos antes del proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias peligrosas y basura inorgánica tendrá que estar en niveles muy bajos, para que permita el proceso de fermentación.
- La composición del biogás tendrá que resultar óptimo para su uso posterior.
- La composición de los residuos de fermentación tendrá que ser tal, que permita su posterior uso, por ejemplo como fertilizante (Deublein y Steinhauser, 2011).

Además, debe estar presente un cierto equilibrio de sales minerales tales como azufre, fosforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno,, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros en menores cantidades (Deublein y Steinhauser, 2011).

La figura 4 resume las estrategias más comunes utilizadas alrededor del mundo.



Fig 4. Métodos de producción de biogás comúnmente utilizados y objetivos particulares (Ávila, 2009)

5.1. Características del biogás

Los componentes del biogás dependen del tipo de producción y sustrato utilizado y deben ser monitoreados regularmente en un plazo de tiempo largo. Las propiedades del biogás son determinadas por la temperatura y la presión, como las de cualquier otro gas puro. Sin embargo, sin importar la técnica de producción, cualquier tipo de biogás se produce con las mismas reacciones químicas para tener casi la misma composición gaseosa (tabla 1) (Doroteo, 2012):

Tabla 1. Componentes del biogás (Doroteo, 2012)

Componente	Concentración por Volumen	Características
Metano (CH ₄)	55%	Explosivo
Bióxido de Carbono (CO ₂)	35%	Acidez
Hidrogeno (H ₂)	<5%	Explosivo
Oxígeno (O ₂)	<5%	Inocuo
Mercaptanos (CH ₃ S)	1.1%	Mal olor
Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	<2%	Mal olor, Corrosivo

Las características fisicoquímicas del biogás como mezcla de gases se resume en la tabla 2 (Clemente y Estradas, 2013):

Tabla 2. Características fisicoquímicas del biogás (Clemente y Estradas, 2013).

Poder Calorífico	21.5 MJ/m ³ (6 kWh/m ³)
Límite de explosión (% volumen de aire)	6-12%
Temperatura de ignición	650-750 °C
Presión crítica	75-89 bar
Temperatura crítica	82.5 °C
Densidad	Normal 1.2 g/L
	Crítica 320 g/L
	Específica 0.94

Su poder calorífico es suficiente para sustituir otros combustibles (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

5.2. Etapas de producción de biogás

La producción de biogás se lleva a cabo en 5 fases secuenciales (fig. 5). La degradación de los residuos dentro del relleno sanitario es lenta y el proceso de fermentación puede llevar de 20 a 40 años (fig. 6) (Deublein y Steinhauser, 2011).

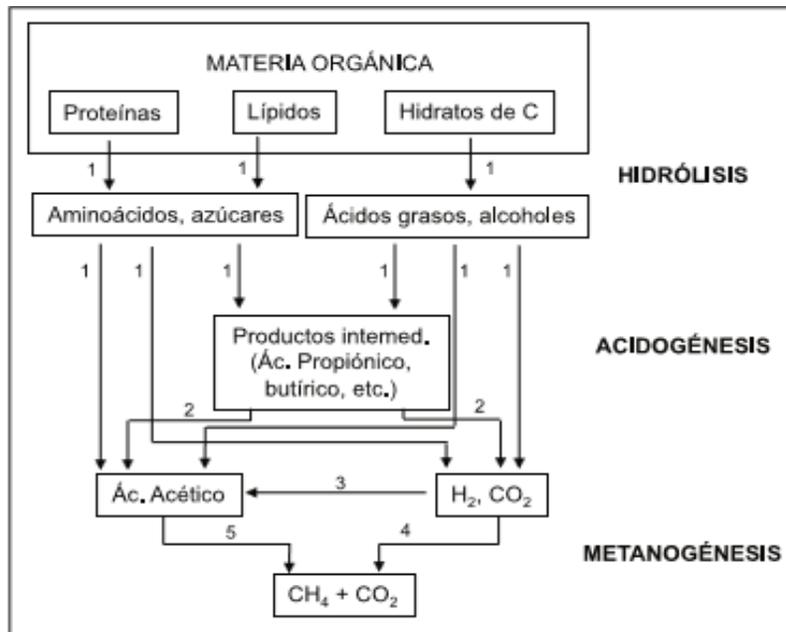


Fig. 5. Diagrama de las etapas de la producción del biogás (Bonmatí, 2008)

1. **Fase I (ajuste inicial)**. Ocurre después de depositar los residuos sólidos en el sitio de disposición final bajo condiciones aerobias, debido al aire atrapado en los residuos.
2. **Fase II (transición)**. El oxígeno es reducido y comienzan a predominar condiciones anaerobias. Los nitratos y sulfatos comienzan a reducirse para formar gases de nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.
3. **Fase III (Fase ácida)**. La actividad bacteriana comienza y se llevan a cabo las siguientes reacciones:
 - a) **Hidrólisis**. Los compuestos de alto peso molecular son transformados mediante la acciones de enzimas: los polímeros orgánicos complejos son

degradados por un grupo de bacterias facultativas (bacterias que sobreviven a condiciones de aerobiosis) mediante enzimas exocelulares: celulasas, amilasas, lipasas, proteasas, etc. (Bonmatí, 2008).

✓ *Acetogénesis*. Algunas sustancias intermedias son degradadas hasta ácido acético (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

b) Acidogénesis. Los compuestos formados anteriormente son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta o volátiles u otros compuestos sencillos (Deublein y Steinhauser, 2011). Los microorganismos en esta etapa son conocidos como acidógenos, un tipo de bacterias facultativas. La acidez en el lixiviado formado tiene aproximadamente un valor de pH de 5, debido a la producción de ácidos orgánicos y alto contenido de dióxido de carbono (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

4. Fase IV (Fermentación del metano). Aparecen los metanógenos, los cuales convierten los ácidos orgánicos en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este proceso se realiza a través de dos rutas metabólicas:

- ✓ *metanogénesis acetoclástica*, a partir de la degradación del ácido acético.
- ✓ *metanogénesis hidrogenófila*, a partir de H_2 y del CO_2 .

El pH óptimo para la existencia de estos microorganismos es de 6.7 a 7.5 (Deublein y Steinhauser, 2011).

5. Fase V (Maduración). El residuo orgánico ha sido convertido a CH_4 y CO_2 . La velocidad de generación de biogás disminuye significativamente porque muchos de los nutrientes disponibles han sido removidos con el lixiviado durante las

etapas anteriores y los substratos que permanecen son lentamente biodegradados.

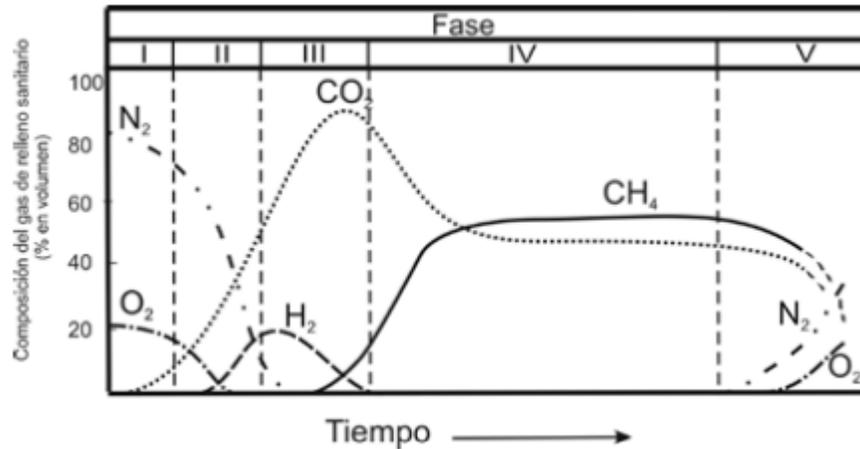


Fig 6. Producción de biogás conforme al tiempo (Tchobanoglous y Kreith, 2002)

La duración de las fases para la producción de biogás en un sitio de disposición final dependerá de la distribución de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, temperatura, condiciones de acidez, trayecto y contenido de humedad en el residuo, así como del grado de compactación (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

5.3. Factores que afectan la formación de biogás

Debido a que la generación de biogás es una cascada de procesos biológicos, es de suma importancia mantener las condiciones de vida óptimas de los microorganismos para la obtención del producto. Dichos procesos metabólicos son dependientes de varios parámetros que ayudan a lograr un proceso de fermentación óptimo. Estos parámetros están resumidos en la tabla 3, en donde se indica la cantidad de cada uno de ellos requeridos en cada fase de la producción de biogás (Deublein y Steinhauser, 2011).

Tabla 3. Requisitos ambientales del biogás (Deublein y Steinhauser, 2011)

Parámetro	Hidrólisis/ acidogénesis	Formación de metano
Temperatura (°C)	25-35	Mesofílica: 32-42 Termofílica: 50-58
Valor de pH	5.2-6.3	6.7-7.5
Proporción C:N	10-45	20-30
Contenido de materia seca	<40	<30%
Potencial Redox (mV)	+400 hasta -300	<-250
Proporción C:N:P:S requerida	500:15:5:3	600:15:5:3
Elementos traza	No requerimientos especiales	Esenciales: Ni, Co, Mo, Se

5.4. Purificación y usos del biogás

El biogás puede contener barro, polvo y/o gotas o trazas de otros gases como el dióxido de carbono (CO₂) que disminuye el valor calorífico, causa corrosión y daña celdas de combustible alcalino, por lo que debe ser limpiado y purificado para su uso posterior. Las partículas sólidas son removidas con colectores de polvo o con filtros coalescentes. Los lodos y espumas son removidos con ciclones, la adición de agua al gas (mejor si es agua procesada) mejora el proceso. Se utilizan contenedores de grava, como prefiltradores y deshidratadores, y filtros de cartucho para filtración fina para remover la contaminación pesada. Para la eliminación de trazas de gases se utilizan técnicas de lavado (por ejemplo refrigeración o depuración con agua o mediante trampas de agua simple), absorción química o física (como la filtración con carbono activado), adsorción por cambio de presión, secado, fijación biológica y dosificación de cloruro de hierro, hidróxido de sodio o hidróxido de hierro (dependiendo del gas a eliminar: nitrógeno, siloxanos, amoníaco, sulfuro de hidrógeno) (Deublein y Steinhauser, 2011; Eaton, Díaz-López y Lokey, 2014).

Una vez purificado y con una mejor calidad, el biogás se puede utilizar para la generación de electricidad, iluminación, generación de energía mecánica y generación de energía térmica (Ávila, 2009). Los usos más comunes en México incluyen: uso en estufas y calderas (energía térmica), la quema en una antorcha para convertir el metano en dióxido de carbono (a menudo utilizado en proyectos que generan créditos de carbono), y el uso en motores para generar energía mecánica y eléctrica (Eaton *et al.*, 2104).

En la figura 7 se ilustra las técnicas de purificación del biogás necesarias para cada uno de sus posibles usos.



Fig. 7. Esquema de purificación y usos del biogás (Eaton *et al.*, 2104)

6. Biogás como energía térmica

La energía térmica es un tipo de energía secundaria –energías que han sido producidas por procesos como refinación, fermentación, tratamientos mecánicos o combustión, a partir de energías primarias que son las que se extraen o se captan de los recursos

naturales - que puede ser derivadas del carbón, del petróleo o de energías renovables. Estas fuentes secundarias de energía, son convertidas en el punto final de consumo. El consumo energético, por su parte, se refiere a la energía destinada a la combustión en procesos y actividades económicas, así como la que satisface las necesidades energéticas de la sociedad (Fernández *et al.*, 2012). El biogás es un tipo de energía secundaria y puede emplearse en la generación de energía eléctrica o como energía térmica limpia para calefacción, cocción de alimentos, evaporación de aguas, hornos, estufas, secadores, calderas y otros sistemas de combustión (Tchobanoglous y Kreith, 2002) mediante cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De las entidades federativas, el Distrito Federal y el área metropolitana (ZMCM) salen de la tendencia que sigue el resto con respecto a la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), generando el 16% y el 12% respectivamente del total nacional de RSU (SEMARNAT, 2014). Sólo en la región del Distrito Federal se producen 12,816 toneladas de desechos por día, de los cuales solo la mitad llega a los sitios de disposición final. Esto es probablemente debido a que los modelos de manejo de residuos en el país son incompletos –se constituyen sólo de las etapas de recolección y disposición final-, se llevan a cabo de una manera errónea con poca, antigua o deficiente infraestructura y herramientas y a que la capacidad de la autoridad local para hacerse cargo de dicho proceso ha sido insuficiente. En conclusión, existe una gestión de residuos deficiente. Además los sitios de disposición final no son suficientes, la mayoría llegaron o están a

punto de alcanzará la saturación y varios no cumplieron con los requisitos establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 para la operación, construcción, clausura y monitoreo de rellenos sanitarios, lo que provoca un desaprovechamiento del poder energético de los residuos (Chávez, 2011; Villaseñor *et al.*, 2013). El biogás como material energético obtenido de digestión anaerobia de la porción orgánica de los residuos podría ser una fuente de oportunidades para generar mercados y cadenas productivas formales si se tuviera una gestión integral de los residuos (Villaseñor *et al.*, 2013; Ponte, 2008; Seoáñez *et al.*, 2000). Además este gas no solo es útil en la generación de electricidad sino que también tiene poder calorífico adecuado para ser utilizado como energía térmica en sistemas de calefacción y cocción (Villaseñor *et al.*, 2013; Eaton *et al.*, 2014).

III. JUSTIFICACIÓN

La dependencia sobre los combustibles fósiles para la generación de energía y consumo energético -procesos fuertemente ligados al desarrollo económico de un país- es muy riesgosa hoy en día ya que la cantidad de estas fuentes es limitada y además, debido a diversos conflictos sociales, políticos y económicos en torno a estos recursos, se genera una alta volatilidad de los precios del petróleo y el gas (SENER, 2015; Estrada *et al.*, 2013a). Por tanto, para un país en vías de desarrollo como el nuestro, donde la economía se encuentra en constante cambio, son necesarias medidas de obtención de energía donde los costos de producción sean bajos, se generen empleos, se cubra la creciente demanda de energía y además que el impacto ambiental generado sea el menor posible. El biogás se presenta como una alternativa capaz de cubrir estos requisitos, ya que en

la Ciudad de México y la ZMCM se genera una cantidad significativa de RSU de donde la parte orgánica serviría de sustrato para la generación de dicho gas: de una tonelada de materia orgánica se pueden obtener de 120 a 300 m³ de metano (Reyes, 2013).

IV. OBJETIVO GENERAL

- Describir el entorno económico y el complementario actuales del mercado del biogás, obtenido de residuos sólidos urbanos (RSU) para utilizarlo como energía térmica doméstica, en la Ciudad de México y Zona Metropolitana (ZMCM).

1. OBJETIVOS PARTICULARES

- Describir la situación actual de la generación y manejo de los RSU en la ZMCM.
- Exponer el entorno económico y complementario –sociocultural, tecnológico y político-administrativo- del uso del biogás en la ZMCM.
- Enunciar los proyectos de aprovechamiento y empresas económicamente activas de biogás, obtenido a partir de RSU y usado como energía térmica doméstica, en la ZMCM.
- Comparar el biogás y los otros tipos de energía térmica doméstica utilizados actualmente en la ZMCM.
- Analizar y contrastar el mercado mexicano y el mercado internacional de biogás producido a partir de RSU utilizado como energía térmica doméstica.

V. MÉTODO

Es menester de este documento el realizar un análisis de entorno, sin embargo solo se describen los factores generales: económicos, socioculturales, políticos-administrativos y tecnológicos (estos tres últimos resumidos en “entorno complementario”), que influyen en el mercado del biogás en la ZMCM. Para efectos de su realización se extrajo información de fuentes oficiales y documentos de investigación que resumen datos importantes sobre los temas concernientes. En primer lugar, se describió la dinámica de generación de RSU y su manejo integral en la ZMCM. Después se plasmó información del entorno económico en donde se describió la dinámica económica del biogás en México: su relación con respecto al PIB, las inversiones, apoyos financieros, entre otros. Con esto, fue posible desarrollar el siguiente objetivo que fue la mención de algunos datos sobre los proyectos de aprovechamiento y empresas económicamente activas alrededor del conocimiento del biogás de la ZMCM. Para describir el entorno complementario se expusieron las estrategias y tipos de sustrato para la obtención de biogás que son utilizadas en la ZMCM. Enseguida, se describió la normatividad que regula todo el proceso de aprovechamiento y distribución del biogás, desde el tema de las energías renovables (ER) hasta la ejecución de cada etapa de dicho proceso. Con ayuda de una tabla en la que se resumieron algunos datos de los tipos de energía térmica utilizadas en los hogares de la ZMCM, se realizó una comparación entre estas energías fósiles tradicionales y el biogás para su sustitución. Además se construyó una matriz FODA, de la cual se utilizó la parte de análisis externo –Oportunidades y Amenazas– para expresar los puntos fuertes y los débiles de ocupar al biogás como energía térmica doméstica en el contexto de la ZMCM. Después, se realizó una tabla sobre algunas

ventajas y desventajas que presenta la dinámica económica de la utilización del biogás como energía térmica doméstica en el país. Con ayuda de ésta misma tabla se realizó una comparación con el mercado internacional.

Por último, se integró toda la información y conocimientos para emitir una conclusión donde se menciona lo que es viable en la ZMCM en materia de energía específicamente en lo que concierne al aprovechamiento de biogás de la descomposición de la parte orgánica de RSU generados en esta zona. La opinión propia emitida y las perspectivas generadas a partir de este estudio, se mencionan en la sección de *Recomendaciones*.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Generación y manejo de los residuos en la Ciudad de México y la Zona Metropolitana (ZMCM)

El territorio del Distrito Federal (DF) abarca una superficie de 1, 490 km², de los cuales 600 km² son de área urbana dividida en 16 delegaciones políticas, donde 8, 851, 080 habitantes de población fija y población flotante –proveniente de la Zona Metropolitana– generan en conjunto 12, 816 toneladas de residuos sólidos al día. De las delegaciones políticas, Iztapalapa es donde se genera la mayor cantidad de toneladas al día: 2,256 ton/día. En la delegación Cuauhtémoc se presenta el mayor índice de generación de RSU promedio por persona con 2.48 kg/hab/día, seguida por Miguel Hidalgo con 2.16 kg/hab/día; en el resto de las delegaciones el promedio de generación de RSU es aproximadamente 1.31 kg/hab/día. Para el 2013, el diagnóstico de generación de RSU

del Distrito Federal mostraba que del total de residuos generados un 63% eran reciclables, 20% eran residuos orgánicos, 13% fueron residuos no reciclables y el 4% fueron residuos especiales, todos provenientes principalmente de fuentes domiciliarias (48%), seguido de la procedencia de comercios y servicios (15%) y de mercados (10%) (Noyola, Hernández, Paredes y Ayala, 2014).

Las delegaciones políticas, con un total de 1,788 rutas dentro de 1, 843 colonias, garantizan la prestación del servicio de recolección de residuos por medio del uso de un parque vehicular de 2, 569 camiones recolectores con distintas capacidades que van de los 0.5 hasta los 18 m³ dependiendo del tipo de contenedor que transporten o del tipo de vehículo, operados por un total de 3, 416 trabajadores de las 16 delegaciones. De dicho parque vehicular, 41% de los camiones (1,055 unidades) tiene una antigüedad de entre 11 y 21 años, seguidos de un 30% (760) de vehículos con antigüedad de 10 años hasta modelos 2013, un 21% (529 unidades) con antigüedad de entre 22 y 32 años y un 9% (225 unidades) con más de 30 años (Noyola *et al.*, 2014).

La separación de los residuos en la fuente de generación es uno de los objetivos de la gestión de RSU en la ZMCM, es por eso que los días martes, jueves y sábados están agendados para la recolección de los residuos orgánicos y los días lunes, miércoles y viernes para los inorgánicos. Existen ciertos puntos de recolección de donde se obtienen grandes cantidades de residuos con alta calidad de separación que incluyen unidades habitacionales, edificios públicos, escuelas y mercados. En las unidades habitacionales es donde se obtiene mayor éxito en la recolección selectiva de los residuos, y es de los

mercados de donde se obtiene la mayor fracción orgánica. El Inventario de Residuos Sólidos (IRS) indica que la mayor recolección de residuos orgánicos se obtiene de la delegación Iztapalapa con 309 ton, seguida por la delegación Coyoacán con 187 ton y en menor cantidad de la delegación Milpa Alta con 20 ton (Noyola *et al.*, 2014).

Las delegaciones políticas también tienen a su cargo la limpia de las vías públicas que llevan a cabo a través de la recolección manual o mecánica. El barrido manual lo lleva a cabo una plantilla de personal operativo de 6,219 trabajadores, a los cuales se les distribuyen 7,566 carritos (con base de ruedas y uno o dos tambos cilíndricos) y otras herramientas como escoba de vara perlilla y pala. La organización del barrido manual es variable, ya sea por cuadrilla de barredores (determinada por el área a limpiar y de la cantidad de residuos a recolectar) o por rutas fijas asignadas a un barredor. El barrido mecánico lo realizan 3, 416 trabajadores que operan 85 barredoras mecánicas, de las cuales el 36% tiene una antigüedad entre 43 y 23 años, el 48% tiene entre 22 y 10 años de antigüedad y el 16% entre 7 y 4 años. De estas máquinas, el 4% se encuentra en buenas condiciones, el 58% en condiciones regulares y el 38% en malas condiciones (Noyola *et al.*, 2014).

Con el objetivo de erradicar los tiraderos clandestinos en vialidades primarias y secundarias, en el 2012 la Secretaría de Obras y Servicios instaló contenedores en parques, salidas de metro y unidades habitacionales. Los contenedores están identificados por colores que representan el tipo de residuos que en ellos deben depositarse; éstos reciben al día 5.3 ton de residuos (Noyola *et al.*, 2014).

En el DF se encuentran ubicadas 13 estaciones de transferencia situadas en 12 de las 16 delegaciones políticas*. De los residuos captados, 87% son obtenidos por recolección delegacional, 7% provienen de la Central de Abastos, 5% de los recolectores de Secretaría de Obras y Servicios (cascajo y residuos de construcción) y 1% de los pagos por derechos (pago de los particulares por la disposición de sus residuos) (Noyola *et al.*, 2014).

Del 100% de los residuos que ingresan, el 44% egresan a diversas instalaciones: industria cementera (0.001%; para reuso), plantas de selección (19%), plantas de composta (25%) y sitios de disposición final (56%) (Noyola *et al.*, 2014).

Para la ZMCM existen 2 plantas de selección, una situada en San Juan de Aragón en la delegación Gustavo A. Madero y la otra en Santa Catarina en la delegación Iztapalapa. La organización y operación se realiza de manera coordinada entre la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios y los gremios selectores. En total en ambas plantas ingresan al día 1,837 ton (54%) provenientes de la recolección del Estado de México, 1,505 ton (45%) provenientes de estaciones de transferencia, y 37 ton (1%) de la recolección de la Secretaría de Obras y Servicios (fig. 8).

*La delegación Iztapalapa tiene 2 estaciones: Iztapalapa y en la Central de Abastos, ambas situadas junto al acceso Norte de la Central de Abastos. Delegaciones sin estación de transferencia: Cuajimalpa, Iztacalco, Magdalena Contreras y Tláhuac

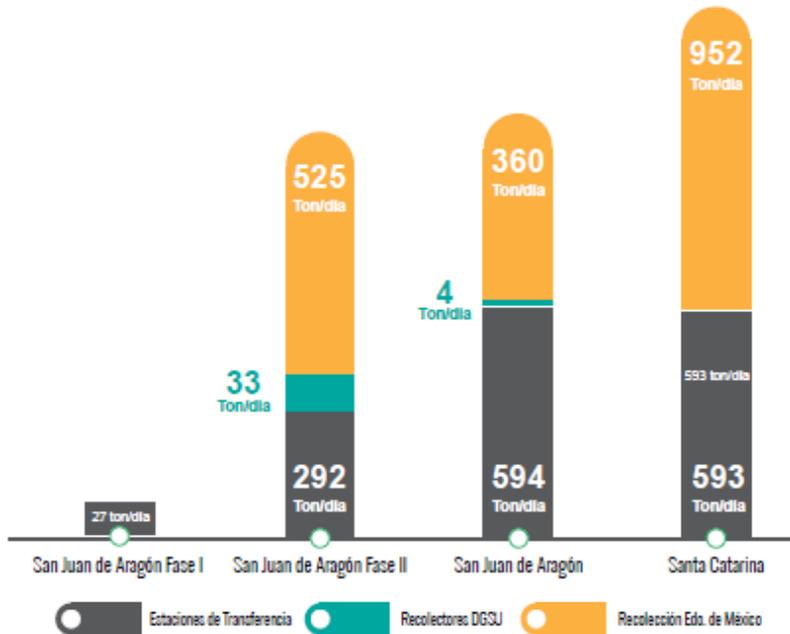


Fig 8. Origen de los residuos sólidos que ingresan a las plantas de selección (Noyola et al., 2014).

De estas plantas de selección se recuperan: 46 ton/día de subproductos de residuos de la planta de San Juan de Aragón y 37 ton/día de la planta de Santa Catarina. Estos residuos pueden ser aprovechados por su valor calorífico para su coprocesamiento en la industria del cemento, o bien se recuperan materiales reciclables para reingresarlos al ciclo productivo (Noyola et al., 2014).

La ZMCM también cuenta con plantas de composta que son siete, distribuidas de la siguiente manera: 5 están ubicadas en: Bordo Poniente y en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa y Xochimilco, y 2 en Milpa Alta. Estas plantas reciben 1,942 ton/día directamente de las estaciones de transferencia, el resto del ingreso es de la siguiente manera:

Tabla 4. Origen y cantidad de los residuos orgánicos que ingresaron a las plantas de composta (Noyola et al., 2014).

Nombre de la Planta de Composta	Origen de los residuos	Total ton/año
Bordo Poniente	Estaciones de transferencia	708,935
Álvaro Obregón	Información no disponible	N/D
Cuajimalpa	Poda, parques, excretas y flores	1,029
Iztapalapa	Mercados y residuos del mantenimiento de las áreas verdes	197
Milpa Alta	Poda, flores, residuos de nopal	1,600
Xochimilco	Poda, flores, residuos de nopal	1,728

El destino de la composta producida se menciona en la tabla 5:

Tabla 5. Cantidad y destino de la composta producida (Noyola et al., 2014).

Nombre de la Planta de Composta	Producción de composta (ton/año)	Destino de la composta	Cantidad de composta entregada (ton/año)	Observaciones
Bordo Poniente	136,116	Dirección de Limpia e Imagen Urbana (DLIU), Facultad de Estudios Superiores Aragón, Delegación Miguel Hidalgo	13,046	
Álvaro Obregón	198	N/D	N/D	
Cuajimalpa	306	Parques, jardines y áreas verdes	306	
Iztapalapa	187.8	N/D	N/D	
Milpa Alta	San Pedro Actopan	Se distribuya a través de los Centros de Servicios y Atención Ciudadana para Agricultores de maíz y frijol	49.87	EL 15% de la composta producida se le entrega al dueño del predio
	Villa Milpa Alta		120	
Xochimilco	358.2	N/D	N/D	

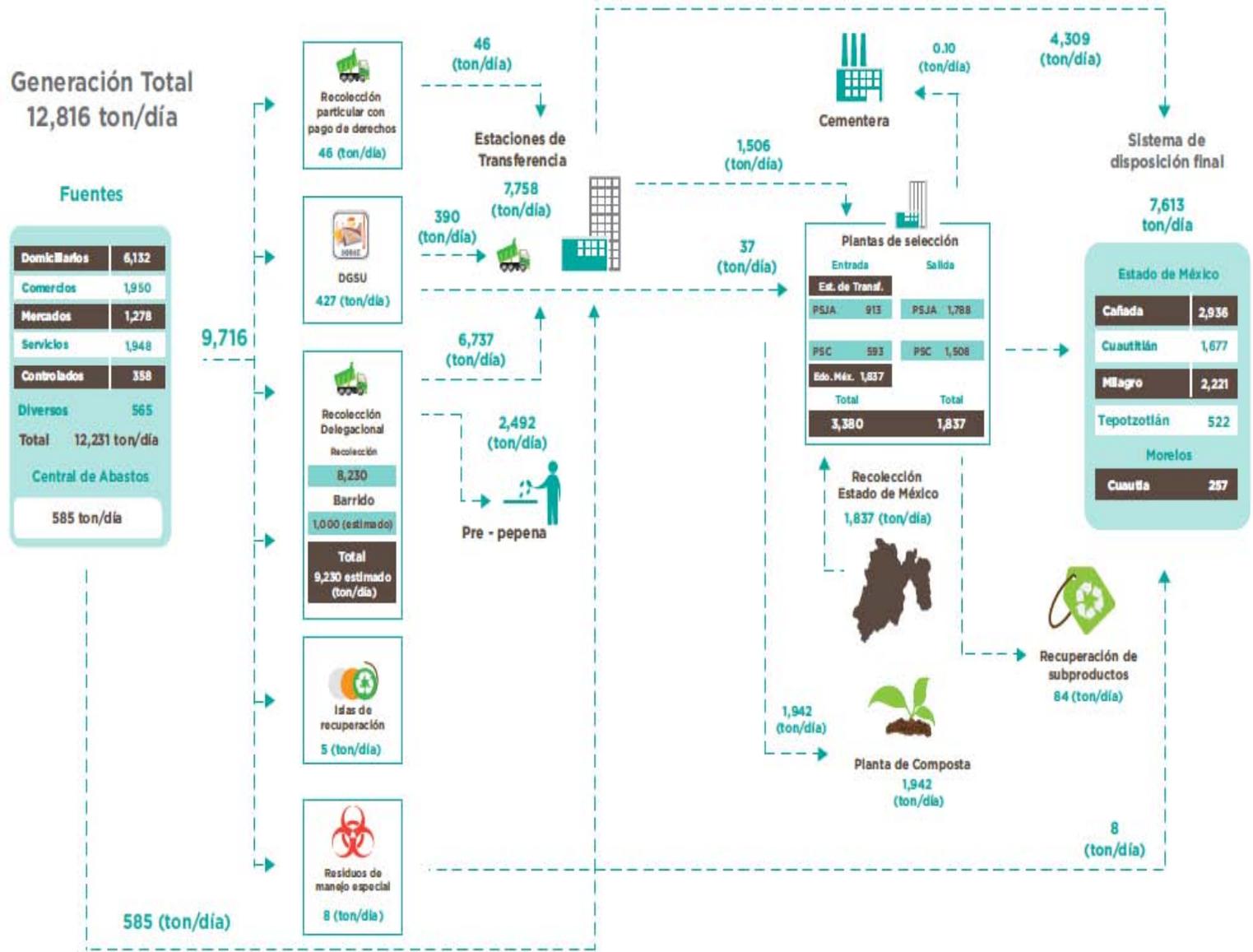
N/D: No disponibles

En la ZMCM, la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del DF es la responsable de la disposición final. Los sitios utilizados para dicha finalidad están situados en el Estado de México (Cañada, Cuautitlán, Milagro y Tepetzotlán) y en el Estado de Morelos (Cuautla). De los residuos entrantes, 4,309 ton/día provienen de estaciones de transferencia y 3,304 ton/día de residuos provienen

de las plantas de selección. Estos residuos se distribuyen de la siguiente manera: 39% (2,936 ton/día) a la Cañada, 29% (2,213 ton/día) al Milagro, 22% (1,677 ton/día) a Cuautitlán, 7% (523 ton/día) a Tepetzotlán y 3% (257 ton/día) a Cuautla (Noyola *et al.*, 2014).

La figura 9 muestra en forma de resumen el flujo de los residuos a través de las fases del plan de manejo de residuos en la ZMCM.

Fig. 9. Diagrama de manejo de residuos sólidos de la ZMCM (Noyola et al., 2014).



Análisis

El DF es la entidad federativa más pequeña y con la de mayor densidad poblacional (5,920 habitantes por km²) donde el promedio es de 1.31 kg/hab/día, por tanto es comprensible que el manejo de los residuos no se lleve a cabo de la manera más eficiente y completa. Sin embargo, es de imperiosa necesidad su ajuste y refinamiento. En forma real, los habitantes de esta zona hemos observado que la capacidad de la autoridad local para hacerse cargo de dicho proceso ha sido insuficiente. Además, a pesar de que existen los medios necesarios, tanto camiones recolectores como trabajadores y reglamentos, aquellos no cuentan con una estructura sólida: los trabajadores son mal pagados, por tanto no realizan su trabajo como lo deberían de hacer o practican la pepena para su propio beneficio económico; los camiones están en muy mal estado a pesar que más de la mitad tienen un periodo de vida no mayor a 20 años; las rutas especificadas y los horarios no se respetan (Mejía, 2012; Noyola *et al.*, 2014).

La Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) indicó que uno de los principales objetivos de la gestión de residuos sólidos es la separación de los mismos en la fuente de generación, acción que permite minimizar la generación, contar con un manejo adecuado y crear mercados de aprovechamiento de residuos (Noyola *et al.*, 2014).

No obstante, existen sectores en la población donde la educación ambiental es insuficiente, finalizando la mayoría de ellos en tiraderos a cielo abierto no controlados. Por lo tanto es precisa la creación e implementación de acciones orientadas a detonar una mayor participación en dicho proceso al cambiar patrones de consumo y de

deposición y separación domiciliaria. De este modo, el inicio del manejo integral de los residuos sería más fluido y por ende el resto del proceso.

En cuanto a la generación por delegación, Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo son las delegaciones con mayores índices de generación promedio, la cual se relaciona principal y realmente con los hábitos de consumo y su desarrollo económico, al mismo tiempo que con el incremento de servicios y comercios en dichas delegaciones. En cambio, en la delegación Iztapalapa donde la generación total es mayor, el índice de generación no es tan alto, lo que supone una relación directa con la concentración de poblaciones de bajos recursos en esa zona de la Ciudad de México, además de que en esta delegación está ubicada la Central de Abastos que representa el 7% de los residuos totales, lo que por supuesto aumenta la cifra.

Tampoco la distribución de camiones recolectores es la más adecuada entre las delegaciones, ya que la cantidad de ellos no es coherente con la cantidad que se genera en cada delegación. Por ejemplo en Iztapalapa, que es donde se genera mayor cantidad de residuos, solo están asignadas 266 unidades mientras que en Gustavo A. Madero se cuenta con 309 unidades. Esto quizá sea por el tipo de residuos recolectados que depende de las actividades económicas que en esta área se llevan a cabo.

Por otro lado, la existencia de 13 estaciones de transferencia para las 16 delegaciones y sólo 2 plantas de selección se considera que es insuficiente, ya que como vemos la generación de residuos es cuantiosa. Sin embargo, se considera que la ubicación de

dichas estaciones y de una de las plantas de selección, la de San Juan de Aragón en la delegación Gustavo A. Madero, no es lo más conveniente ya que genera malos olores que afecta a la población circundante.

Simultáneamente, la mayoría de los sitios de disposición final o rellenos sanitarios llegaron o están a punto de llegar a la saturación (Fernández, Martínez y Osnaya, 2002; Moctezuma, 2012) y la Dirección General de Servicios Urbanos lo único que hace es explotar el sitio hasta su mayor capacidad, en vez de solucionar el problema de raíz a través de una mejor planeación.

Finalmente, sobre la premisa de que 1 ton de residuos orgánicos podría generar de 120 a 300 m³ de metano aproximadamente (Reyes, 2013) y de que el 20% (2,563.2 ton/día) de los RSU de la ZMCM es de origen orgánico (Noyola *et al.*, 2014), entonces en teoría podrían generarse alrededor de 307,584 a 768,960 m³ de metano al día. Además, considerando que el 7% de los residuos totales de la ZMCM proviene de la Central de Abastos, que en su mayoría se compone de residuos orgánicos, adicionalmente se podría generar de 107,654.4 a 269,136 m³ de metano diarios. Sin embargo, observamos que la mayor parte de la fracción orgánica de los residuos totales es destinada directamente a la composta, principalmente a la de Bordo Poniente, cuyo producto es destinado principalmente para la DLIU y la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón. No obstante, de apostarle su destino a la disposición final para complementar la generación de biogás, se podría obtener de 233,040 a 582,600 m³ de metano extras.

2. Análisis de entorno

2.1. Entorno económico

El sector energético es uno de los más importantes para la economía pues genera factores esenciales para todas las actividades productivas y bienes de consumo fundamentales para los hogares. En nuestro país, este sector representa casi el 8% del PIB y, principalmente por las condiciones de evolución histórica, depende en gran medida de la energía fósil es decir de petróleo, gas natural y carbón. El cambio más relevante observado en la última década es la sustitución gradual del petróleo por gas natural (Larios, 2014; SENER, 2012a).

El gobierno federal considera que para que el PIB crezca a una tasa superior es necesario contar con un suministro de energía tal que sea capaz de continuar satisfaciendo los requerimientos existentes, y suficiente para desarrollar nuevos mercados y generar polos de desarrollo, de manera que no se frene el crecimiento. Es así como México se ha convertido en importador neto de gasolinas, diésel, turbosina, gas natural, gas licuado de petróleo (L.P.) y petroquímicos. Actualmente, la creciente escasez relativa de estas fuentes ha llevado a México a considerar la explotación de acervos petroleros en aguas profundas y de gas en las formaciones de lutitas, cuestiones incluidas en la reforma energética reciente.

Gómez (2011) menciona en su análisis que la relación existente entre el crecimiento económico (PIB), el consumo de energías fósiles y el número de emisiones contaminantes de CO₂ es positiva: la correlación entre el PIB mexicano y el consumo de

energía fue de 0.978, entre el consumo de energía y las emisiones de CO₂ de 0.993 y entre el PIB y las emisiones de contaminantes fue de 0.98. Por tanto, Gómez concluyó que existe una prociclicidad entre el PIB y el consumo de energía fósil.

En nuestro país los ingresos petroleros representan alrededor de 30% de los federales (Larios, 2014). En el primer trimestre de 2014 se suscitó una caída de la actividad petrolera en un 0.9% anual, asociado a la menor plataforma de producción que PEMEX ha reportado, lo que impactó negativamente al PIB (SHCP, 2015). Al mismo tiempo, diversos factores internacionales como las prolongadas interrupciones en el suministro de crudo de Libia, la creciente violencia en Irak y Sudán del Sur que impacta sobre el abastecimiento proveniente del Medio Oriente y norte de África, el conflicto geopolítico entre Rusia y Ucrania y las disminuciones de crudo en Cushing, Oklahoma ante la puesta en marcha del segmento sur del oleoducto Keystone XXL, provocan la volatilidad de los precios del crudo y con ello los precios al público (fig. 10) (CEFP, 2014; Beltrán *et al.*, 2013).

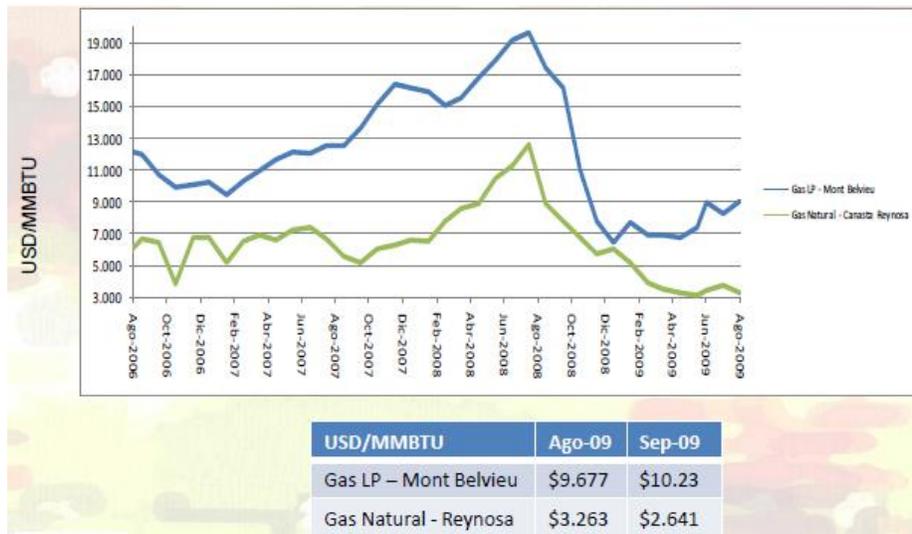


Fig. 10. Volatilidad de los precios de primera mano (importación) de los combustibles fósiles más utilizados en México (Clemente & Estradas, 2013)

Para abastecer el constante incremento en la demanda de energía, alrededor del mundo se han buscado energías alternativas como las fuentes renovables, con costos cada vez menores, con un menor impacto ambiental negativo y disponibles para todos los consumidores, sin importar la zona geográfica (Estrada *et al.*, 2013a). Las energías renovables están ganando velocidad en países en desarrollo, teniendo nuevas inversiones en todas las tecnologías, nuevos mercados y nuevos sectores de producción (Lins y Wolf, 2013).

Durante el 2013 y el primer semestre del 2014 en México se instrumentaron o ratificaron mecanismos de fomento o políticas que favorecen la inversión en energía renovables, y políticas de corte más amplio que resultan de importancia destacando las deducciones fiscales para inversión en capital, los impuestos al carbono para la mayoría de los

combustibles fósiles, así como la modificación de la tasa de descuento social del 12% al 10% (DOF, 2014b).

La Agenda de Desarrollo Sustentable, ahora actualizada con la economía verde y con la Agenda del Cambio Climático, sugiere la promoción de las energías renovables como una de sus estrategias cruciales (Capital de México, 2014). Mediante la Ley para el Aprovechamiento de Fuentes Renovables de Energía (LAFRE) y el Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE), el gobierno federal y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial respectivamente, dan incentivos que fomentan la inversión pública y privada con miras a que se instalen y se pongan en operación proyectos en los que se utilicen tecnologías competitivas; sin embargo sólo considera proyectos para la producción de electricidad. Asimismo, se destinan recursos adicionales para la promoción de otras tecnologías menos maduras (con aplicaciones eléctricas y no eléctricas) consideradas como estratégicas para México. Respecto al destino de los fondos del Fideicomiso, los recursos federales aportados se utilizan en un 7% para aplicaciones no eléctricas en el llamado “Fondo General de Energías Renovables (ER)”, el resto y la mayor parte de los fondos se destina a aplicaciones eléctricas (SENER y GTZ, 2006). El sector energético cuenta con el Fondo Sectorial SENER-CONACYT y el Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE) el cual impulsa la investigación científica y tecnológica para la adopción, innovación, asimilación y desarrollo de fuentes renovables de energía, tecnologías limpias y diversificación de fuentes primarias de energía que generen una mayor eficiencia energética. Además actualmente existen esfuerzos por parte de la Secretaría de Economía y otras dependencias del gobierno, como el Fondo

PYME, Fondo de Innovación Tecnológica, Fondo de Capital Emprendedor, Fomento a la Industria Manufacturera y de Servicios de Exportación, para incentivar una política industrial más verde. También PROMEXICO y los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto (PK) desarrollan estrategias específicas para atraer inversión extranjera que pueda utilizar a México como plataforma de exportación. Los MDL además posibilitan la venta de Certificados de Reducción de Emisiones a países del Anexo 1 del PK (DOF, 2014b; CCA, ENVINT y OSEA, 2010; SENER y GTZ, 2006). Con la finalidad de propiciar inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de ER, la Ley de Impuesto sobre la Renta (ISR) establece que los contribuyentes del ISR podrán deducir el 100% de la inversión en un solo ejercicio, siempre y cuando dicha maquinaria y equipo se mantengan en operación durante un periodo mínimo de cinco años con fines productivos (SENER y GTZ, 2006). El proyecto Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en México (SIEPCRM) recauda fondos de instituciones internacionales para apoyar la generación de energía en pequeñas comunidades indígenas de 500 o menos habitantes (CCA *et al.*, 2010).

De las energías renovables potenciales existentes en el país, la SENER registro en el 2002 distintos tipos, entre ellos el biogás (Fernández *et al.*, 2002). La biomasa como ya se mencionó, es un sustrato para la generación de biogás. Así, dada la generación de distintos tipos de biomasa en México, la SENER estima que la biomasa forestal sería la que generaría un mayor impacto en el PIB y en el empleo (fig. 11). Esta institución menciona que la instalación de plantas de energía generada a partir de biomasa,

provocaría un incremento del PIB en torno a 37,500 millones de pesos y la creación de alrededor de 31,000 empleos. Con esto, la SENER estima una inversión de 54,600 millones de pesos concentrada en 65% en la industria nacional y un incremento en los ingresos tributarios en 3.1 millones de pesos anuales (Valle y Ortega, 2012).

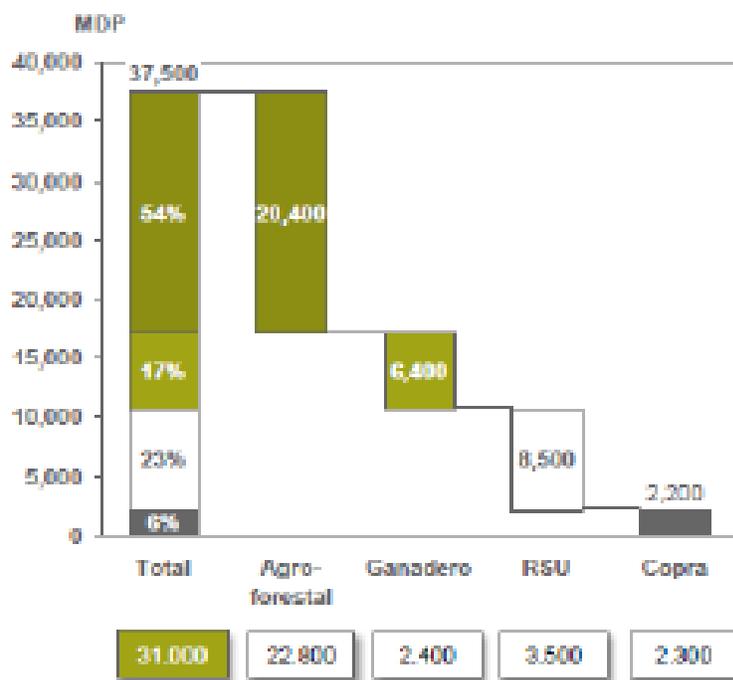


Fig. 11. Desglose de los impactos en PIB (eje y) y en empleo por sectores (eje x) (SENER, 2012b).

Dado el conocido poder energético de los residuos, éstos también son considerados como biomasa para la generación de energía. La SEMARNAT (2014) menciona que en México, la participación de las entidades federativas en la generación nacional de RSU tiene una relación lineal positiva con su contribución al PIB nacional, resultado de la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y grado de urbanismo. Así por ejemplo, en el 2011 el 43% de la generación de residuos totales nacionales fue por parte de las zonas metropolitanas, entre ellas incluida la ZMCM. Sobre esta premisa, la

transformación de los residuos en biogás pueden ser en una fuente de oportunidades para generar mercados y cadenas productivas formales cuando se tiene una gestión integral de los residuos, desde su generación hasta su disposición final y su posterior aprovechamiento controlado (Villaseñor *et al.*, 2013; Ponte, 2008; Seoáñez *et al.*, 2000).

Desde el punto de vista económico, la inversión en los proyectos de aprovechamiento de biogás será en la construcción de los rellenos sanitarios (en el caso de que no existan), en la perforación para la recuperación de biogás, en la instalación de la red de recolección y finalmente en la edificación de la planta de tratamiento (Hernández, 2012), además el presupuesto dependerá del tipo de instalación: si sólo se va a generar calor, será más barata que una planta de electricidad, que a su vez será más barata que una planta de cogeneración. El sistema de distribución aumenta los costos generales, sobre todo si no se cuenta con un usuario local de la energía generada, sino que más bien se pretende construir un sistema de distribución distrital de la misma (CCA *et al.*, 2010).

La Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM) establece los medios que aseguran las mejores condiciones disponibles en cuanto a precio, calidad, financiamiento, oportunidad, entre otros factores, para la obtención de contratos para obras públicas y los servicios relacionados con las mismas, como lo son los rellenos sanitarios y las plantas de aprovechamiento de biogás. La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) ofrece apoyo para este tipo de proyectos, desde el diseño de los rellenos sanitarios, hasta la generación de energía eléctrica (SENER y GTZ, 2006). La SAGARPA y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), diseñaron el Proyecto

de Apoyo al Valor Agregado de agronegocios con esquemas de riesgo compartido (PROVAR), para apoyar a las empresas y personas del sector rural en la construcción de biodigestores hasta con un millón de pesos o hasta 250 mil pesos para quienes generen electricidad, con un aporte del 50% o más de los beneficiarios (Masera *et al.*, 2011). Así también, existe una licitación pública internacional para la obtención de préstamos del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) y créditos de la Asociación Internacional de Fomento (AIF) provenientes del Banco Mundial específicamente para proyectos de aprovechamiento o quema de biogás (Villaseñor *et al.*, 2013).

Análisis

Se considera a opinión propia que un sistema de biomasa es una de las alternativas que pueden ser adoptadas para la generación de energía, en cualquiera de sus tipos, en aras de la transición a una economía verde y un desarrollo sustentable.

Debido a la inestabilidad en torno a los energéticos fósiles, tomando en cuenta desde su existencia hasta la volatilidad de sus precios, diversos países los han sustituidos paulatinamente y en su lugar han fomentado las ER para satisfacer la demanda energética. Sin embargo, en México donde las políticas públicas están diseñadas para la solución de los problemas a corto plazo y con una visión muy estrecha de los peligros que esto pueda ocasionar, la promoción de los energéticos tradicionales se ha ido incrementando a través de reformas mal estructuradas. A consideración propia, estas decisiones no son las más apropiadas, dado que en vez de generar resultados positivos

se generan daños tanto ambientales, como sociales y económicos. Además, si mínimo se implementaran dichas políticas públicas de manera real, se podrían aumentar la tendencia del crecimiento del PIB per cápita anual en un punto porcentual durante los próximos 10 años, indicó el secretario general de la OCDE José Ángel Gurría en el Estudio Económico del 2015 (NTX, 2015).

Sin embargo, el panorama mexicano no es tan oscuro ya que realmente existen medios para financiamiento y apoyos monetarios para el establecimiento de proyectos de aprovechamiento de biogás tanto rurales como a escala media. Así también vemos que existe un gran apoyo tanto nacional como internacional para el desarrollo e investigación de tecnologías que permitan refinar el proceso de extracción y purificación del biogás. El reto es llevar a cabo estos proyectos a través de una planeación bien estructurada, donde cada uno de los aspectos del proceso de obtención de biogás sean estudiados y tomados en cuenta para la correcta evaluación de lo que se tendrá que invertir, ya que como vimos no es la misma inversión cuando el relleno sanitario está mal construido, no sigue las especificaciones señaladas en las normas reguladoras, o no tiene las condiciones óptimas para la extracción del gas; cuando la red de distribución es inexistente o se encuentra en malas condiciones; o cuando la finalidad del proyecto es generar electricidad o calor o ambas. De esta manera, al intentar materializar los proyectos nos encontraremos menos obstáculos político-administrativos que los que de otro modo se enfrentarían.

Finalmente, hemos de recordar la riqueza de México en recursos naturales a consecuencia de la privilegiada ubicación entre ambos Trópicos terrestres. Por ello, es

sabido alrededor del mundo que nuestro país tiene un enorme potencial para poder establecerse como una potencia económica. Guillermo Gutiérrez de BK Partners (una firma de gestión de inversiones) señaló que existe un enorme potencial para la explotación de energías renovables en México por lo que alrededor del mundo se considera como un destino atractivo de inversión (Paluck, 2014).

2.1.1. Proyectos de aprovechamiento y empresas económicamente activas

A continuación se enuncian algunos datos de proyectos y empresas dedicados a la ampliación del conocimiento del biogás, así como también a su explotación y uso como producto comercial dentro de la ZMCM (tabla 6).

Tabla 6. Proyectos de aprovechamiento y empresas económicamente activas en la ZMCM.

Nombre	Estatus financiero (empresal/proyecto)	Ubicación	Tiempo de operación	Resultado/Producto
Aprovechamiento de biogás a partir de biomasa, obteniendo hidrógeno para transporte vehicular.	Proyecto de investigación Financiamiento del macroyecto: "La Ciudad Universitaria y la energía"	Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria UNAM, Ciudad de México.	2005-2006	Logística para manejo de residuos en la facultad; Hidrógeno para alimentación de un vehículo
Proyecto Ixtapaluca	Proyecto de investigación. Modo de financiamiento no mencionado.	Establo "Los Montaña", Ixtapaluca, Estado de México.	n/d	Biogás para uso local
Relleno Sanitario Prados de la Montaña	Proyecto de investigación. Financiamiento por el Programa de Investigación en Cambio Climático UNAM 2012.	La Loma, Álvaro Obregón, Ciudad de México.	2004 por Hernández y Durán. 2014 por Villanueva y colaboradores.	Monitoreo de las propiedades del biogás producido, así como de la cantidad y velocidad de su generación.
Proyecto de Captura y Aprovechamiento de Biogás Metano en el Relleno Sanitario Bordo Poniente	Proyecto de aprovechamiento. Presupuesto del Gobierno del Distrito Federal (GDF)	Zona Federal del exLago de Texcoco, salida Oriente de la Ciudad de México.	Diciembre 2010- diciembre 2011 por GDF, SEMARNAT y CONAGUA Diciembre 2012- ? (inconcluso) por GDF y Sistemas Eléctricos Metropolitanos	Clausura del relleno sanitario Bordo Poniente. Explotación y aprovechamiento
Relleno sanitario Ecatepec	Proyecto de aprovechamiento.	Ecatepec y Tecámac, Estado de México.	2007	Obtención de 209,353 ton de biogás y 57,196 ton de CO ₂ eq por año reducidos.
Relleno sanitario Tecámac	Financiamiento por Ecosecurities		Marzo 2009- septiembre 2010	Ecosecurities instaló tecnología, construyó y operó los rellenos sanitarios con base a MDL para la generación de bonos de carbono.
Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Proyecto de aprovechamiento. Financiamiento del gobierno federal de la República Mexicana	Exvaso del Lago de Texcoco, Zona Federal del exLago de Texcoco, oriente Ciudad de México	2014-actualidad	Aprovechamiento de biogás para la generación de electricidad que abastecerá el NAICM
Biobolsa	Empresa	Colonia Condesa, Ciudad de México.	2010- actualidad	Fabrica, distribuye, instala y da servicio de un biodigestor anaeróbico llamado Sistema Biobolsa. Administra un fondo interno de financiamiento y bonos de carbono.
Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás (AMBB)	Empresa	n/d	2006- actualidad	Brinda asistencia técnica a los desarrolladores de proyectos e integradores de soluciones para apoyar de manera real a los procesos productivos en México alrededor de la biomasa y el biogás.
Consortio Ingeniería Ambiental Mexicana (CIAM)	Empresa	Col. Del Valle, Ciudad de México. San Ignacio, Villavicencio, Colombia	n/d	Diseño, construcción, supervisión y administración de obra en proyectos MDL y de biodigestión anaeróbica.
Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO)	Empresa	CIECO-UNAM, Morelia, Michoacán.	2006-actualidad	Asesoría para gestión de proyectos y estudios de factibilidad sobre bioenergía. Difusión de información, organización de congresos, foros y seminarios. Ejecución de proyectos sobre bioenergía.

Creación propia en base a: Matabuena, s/f; Doroteo, 2012; Hernández y Durán, 2004; Villanueva et al., 2014; GDF & SEMARNAT, 2010; GRM, 2014; Cervantes, 2014; Rojas, 2013; AGU, 2014; Hernández, 2012; Sistema biobolsa, 2015; AMBB, 2013; CIAM, 2015; Rembio, 2015.

2.2. Entorno complementario

TECNOLÓGICO:

En México, existe una importante red de investigación en materia de ER, que incluye instituciones tanto del sector público como del sector privado que son regulados por la Secretaría Nacional de Energía (SENER) a través de los lineamientos de política en materia de investigación en ER (SENER & GTZ, 2006). Entre las instituciones de carácter público se destacan la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en sus diferentes institutos de investigación, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzado (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), entre otros. De las instituciones del sector privado podríamos mencionar al Centro Mario Molina, la empresa PROMEXICO, el Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM), entre otros.

Según la SEMARNAT, en México durante el periodo de 2006 a 2011 del 100% de la generación de energía a partir de biomasa y biogás, el 93% fue a partir de bagazo de caña y 7% a partir de residuos ganaderos y agrícolas, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, todos ellos estaban destinados a la generación de electricidad (SENER, 2012a). En el *Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México* realizado por IRRI México y la EPA se menciona que solamente de los residuos de ganadería y agricultura, el potencial de producción de biogás es sumamente alto. La tabla 7 resume los sustratos (desechos mayormente generados en el país) que pueden producir biogás a través de digestión anaerobia (DA) (Eaton *et al.*, 2014).

Tabla 7. Producción de biogás en México a partir de desechos agrícolas y ganaderos (Eaton et al., 2014).

Cereales	Cantidad de residuos producidos (ton/ha/cosecha)	Volumen de biogás producido a través de DA (m3/ton)
Trigo	3.3	367
Maíz	6.4	514
Excremento	Excremento disponible* (kg/día)	Volumen de biogás producido desde DA (l/kg excremento fresco)
Ganado	10.00	40
Cerdos	2.25	60
Aves	0.18	80
Ovejas	1.50	50
Cabras	2.00	50
Caballos	10.00	40
Humanos	0.40	60

La Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás (AMBB) indicó que la estrategia más común para la generación de biogás en México efectivamente es a partir de residuos agrícolas y ganaderos, que generalmente se constituyen como proyectos en zonas rurales como parte de programas de desarrollo de dicho sector para la generación de energía eléctrica, energía térmica y obtención de mejoradores de suelo de lodos secos y húmedos (Clemente y Estradas, 2013). Esta institución muestra en su ponencia *Curso de fortalecimiento institucional a sistemas de biodigestión: aprovechamiento de biogás* el esquema típico para el establecimiento de una planta de aprovechamiento de biogás en México (figura 12).

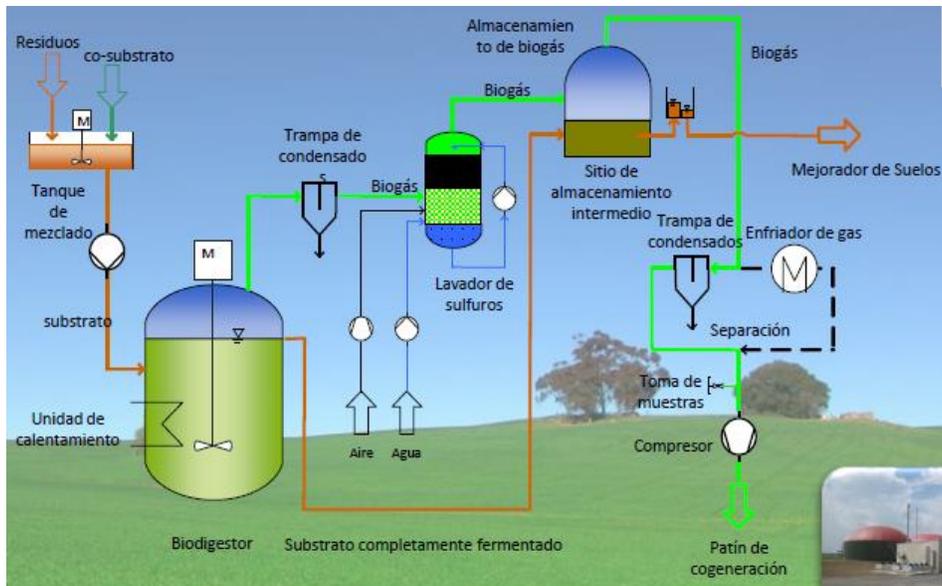


Fig. 12. Esquema típico de planta de biogás en México (Clemente & Estradas, 2013).

Como ya se mencionó el biogás no solo es útil en la generación de electricidad sino que también tiene un poder calorífico adecuado para ser utilizado como energía térmica en sistemas de calefacción y cocción (Villaseñor *et al.*, 2013; Eaton *et al.*, 2104). Para su uso en hogares en zona rurales donde el sitio de extracción de biogás se encuentra en las cercanías, Eaton y colaboradores (2014) mencionan que los quemadores se deben instalar en una plataforma de metal estable o de hormigón a por lo menos 30m del biodigestor, cables o equipos de biogás. Para su uso en los hogares y establecimientos comerciales en las ciudades, es decir a una distancia lejana a la planta, el biogás puede ser distribuido por medio de las líneas de gas natural. Para ello, debe ser transformado a un gas con propiedades similares a las del gas natural al aumentar la concentración de metano de la mezcla, eliminando otros gases como el dióxido de carbono que diluyen su potencial energético (Véase capítulo 1 sección 5 *Purificación y usos del biogás*). A través de dichas técnicas se obtiene un gas adecuado para ser conducido por las líneas de gas natural (tabla 8) (Eaton *et al.*, 2104).

Tabla 8. Características del biogás para su uso en líneas de gas natural (Eaton *et al.*, 2014).

Componente de biogás	Características requeridas para su uso en líneas de gas natural
Anhídrido sulfúrico (H ₂ S)	< 4 ppm
Oxígeno (O ₂)	0.2 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	2 %
Contenido de humedad	65 mg / nm ³
Metano (CH ₄)	THV 36 MJ / m ³

Así pues, para su uso final como energía térmica doméstica es necesario realizar una adaptación en los electrodomésticos debido a la diferencia de presión entre el gas L.P. y el gas natural. Dichas adaptaciones son: cambio de los orificios de los quemadores de gas, de las espreas de las válvulas de las estufas, de los inyectores de los boilers, secadoras y sistemas de calefacción a base de gas, y cambio de los reguladores de presión. Con frecuencia, los fabricantes de electrodomésticos ofrecen los kits de conversión e indican en el instructivo si el aparato está diseñado para funcionar con gas L.P, gas natural o con cualquiera de los dos y cuál es el ajuste de fábrica de presión. Eaton y colaboradores (2014) mencionan que el rango de consumo promedio de biogás por persona por comida es de entre 150 y 300 litros por día.

En vías de la obtención de éxito de proyectos de aprovechamiento de biogás a cualquier escala, es necesario tomar en cuenta el número de habitantes, la cantidad de residuos que se produce, las prácticas del manejo de los mismos y el tamaño, edad y características del relleno sanitario. Por tanto, la implementación de rellenos sanitarios con recuperación de biogás será variable en lugares en donde se genera gran cantidad de RSU y donde la demanda de energía sea elevada (Hernández, 2012). Por ejemplo,

un sistema de 2 MW necesitaría los desechos anuales de una población de por lo menos 200,000 habitantes, es decir, una ciudad mediana (CCA *et al.*, 2010). Existe además un manual llamado *Manual del Usuario, Modelo Mexicano de Biogás (versión 2)* preparado por SCS Engineers a solicitud de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para evaluar la factibilidad y los beneficios potenciales al capturar y utilizar el biogás generado en un relleno sanitario. El modelo provee estimaciones de la recuperación de biogás al multiplicar la generación de biogás por la eficiencia de captura (Villaseñor *et al.*, 2013).

POLÍTICO-ADMINISTRATIVO:

En cada sexenio, los Planes Nacionales de Desarrollo (PND) incluyen objetivos tales como la reducción de la dependencia del país por los combustibles fósiles a través del impulso del uso de fuentes de energía alternativas, con base en la premisa de la mejora de calidad de vida del ciudadano mexicano enunciada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF, 2014b). En la Estrategia Nacional de Energía (ENE) 2012-2026, se menciona como prioritario en la política energética nacional la diversificación de la matriz energética, ya que a través de ello se contribuye a garantizar la seguridad energética al reducir los riesgos asociados a cambios políticos y económicos y además disminuye el impacto derivado de la volatilidad en los precios de los combustibles (SENER, 2012a). En la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (LPDB) se promueve el desarrollo de estos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano (LPDB, 2008).

Con el objetivo de una seguridad energética para el país, el Gobierno Federal creó recientemente la Reforma Energética Constitucional de los artículos 25, 27 y 28, la cual pretende proveer beneficios tales como la reducción de las facturas de luz y precios de gas, a través de la promoción de la extracción y uso del gas natural debido a que la energía producida a partir de él es cuatro veces más barata que al utilizar combustóleo y seis veces más económica que empleando diésel. Esta reforma permitirá establecer nuevos mecanismos y renovar algunos de los existentes para la promoción de las energías renovables. Además destaca entre ellos las obligaciones de energías limpias, que permitirán dar certidumbre al ritmo y avances en materia de desarrollo de energías renovables, en corto, mediano y largo plazos (DOF, 2014b).

Actualmente existe el mandato legal –Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de Transición Energética (LAERFTE)- de generar el 35% de la electricidad a partir de energías no fósiles para el 2024, el 40% para el 2035 y el 50% para el 2050 (SENER, 2013; DOF, 2014b).

En el caso de la ZMCM la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) es la que formula, ejecuta y evalúa la política estatal en materia ecológica. También existe la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la ZMCM que tiene como objetivo coordinar las políticas, programas y proyectos, así como verificar la ejecución de las acciones que las dependencias y entidades de la Administración Pública deban emprender contra la contaminación ambiental. Así mismo, la Comisión Ambiental

Metropolitana (CAM) coordina la planeación y ejecución de acciones en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico en la ZMCM (SEDEMA, 2015).

En la Prospectiva de Energías Renovables 2011-2025 se menciona que México tiene gran potencial en el aprovechamiento de rellenos sanitarios para la producción de biogás como fuente de energía térmica y eléctrica, hecho representado en un mapa donde se localizaron las distintas magnitudes de los potenciales de cada entidad federativa (fig. 13) (Valle y Ortega, 2012).

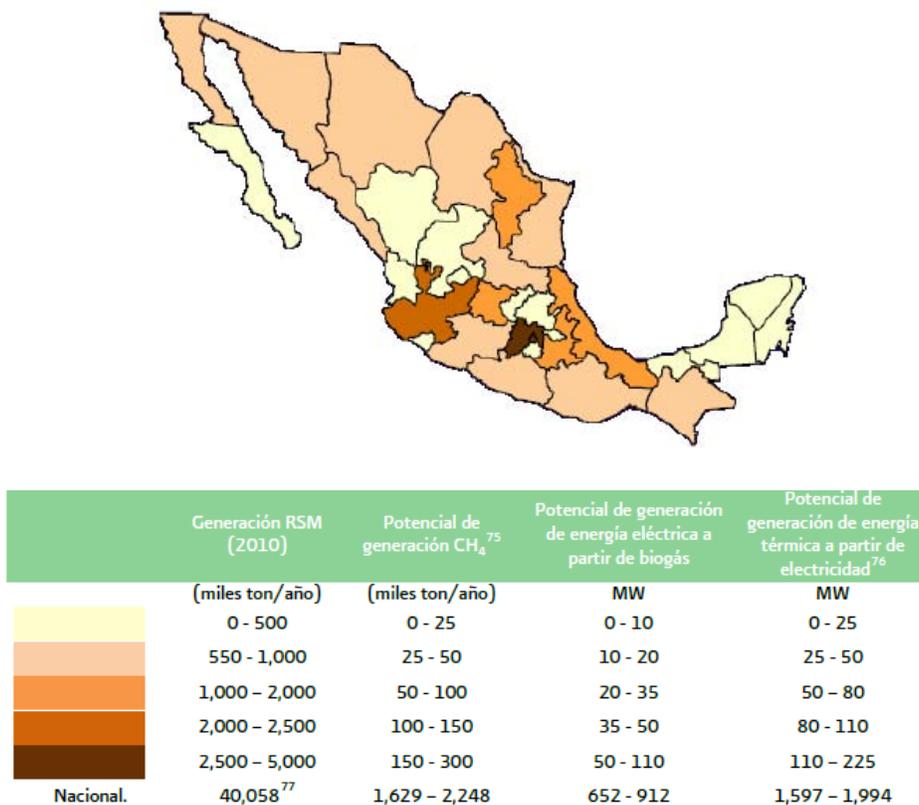


Fig. 13. Potencial de aprovechamiento de biogás proveniente de rellenos sanitarios (SENER, 2012b)

Como se puede observar, la ZMCM es la que posee mayor potencial de generación de metano (150-300 miles de ton/año), esto es debido a la magnitud de la generación de residuos en la zona que ya se mencionó anteriormente. En la Agenda de Sustentabilidad Ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México (ASA-ZMVM) se menciona, entre otras, el aprovechamiento del biogás de los rellenos sanitarios para la generación de energía como estrategia para el manejo sustentable de los residuos sólidos (CAM, 2010).

Así en esta región, como en el resto del país, ambas entidades federativas -DF y Estado de México- también cuentan con leyes locales de Residuos Sólidos (LRSDF) basadas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), en donde indican las cláusulas para la realización del trabajo especializado para obtener energía renovable y limpia a partir de la gestión adecuada de los residuos sólidos de estas entidades (LRSDF, 2003). En el DF, la Secretaría de Obras y Servicios junto con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda integran el Gabinete de Desarrollo Sustentable que tiene como propósito articular las políticas para el desarrollo de la ciudad desde los puntos de vista ambiental y urbano. La Secretaría de Obras y Servicios tiene adscritas 6 Direcciones Generales entre las que está la Dirección General de Servicios Urbanos que es la responsable de atender el manejo de los residuos sólidos: efectúa la limpieza urbana, fortalece la recolección de los desechos, y establece sistemas de reciclamiento y tratamiento con base en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM), la Ley de Obras Públicas del DF (LOPDF) y la Norma Oficial Mexicana 083-SEMARNAT-2003 (SOBSE, 2014; Villaseñor *et al.*, 2013).

A continuación en la tabla 9 se resume la regulación política-administrativa que media cada una de las etapas de los proyectos de aprovechamiento o quema de biogás en México, y por ende en la ZMCM.

Tabla 9. Marco regulatorio mexicano concerniente a proyectos de aprovechamiento de biogás (Eaton et al., 2014).

Tópico	Estándar regulatorio (NORMA)	Idoneidad para implementación de proyectos	Descripción de la norma
Planificación del proyecto	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente-1988. Última Reforma DOF 30-08-2011. (LGEEPA)	Planificación y diseño del proyecto	Fomenta y promueve la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan, controlen o eviten el deterioro ambiental mediante el uso eficiente de recursos naturales y de energía. Fomenta el uso de energía menos contaminante. Criterios para controlar y prevenir la contaminación del suelo a través de sist. de limpia y disposición final de los residuos.
	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.	Planificación y diseño del proyecto	Ubicación, dimensiones, características o alcances de obras o actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites para proteger el medio ambiente, con el objetivo de evitar que produzcan impactos ambientales significativos.
Residuos sólidos	NOM-004-SEMARNAT-2002	Manejo de lodos o sólidos desde pre tratamientos o efluente.	Protección medioambiental: Lodos y biosólidos límites máximo de contaminantes permitidos en el uso o eliminación de lodos o biosólidos.
	NOM-083-SEMARNAT-2003	Manejo de lodos o sólidos desde pre tratamientos o efluente.	Estándares para la selección de sitios, diseño, construcción, operación, monitoreo, cierre y trabajos complementarios en un lugar especial de tratamiento y desecho de residuos sólidos urbanos
	Estándares ambientales de nivel estatal	Separación de sólidos de la materia prima/ influentes líquidos o efluentes líquidos	Los límites están fijados por el estado y varían nacionalmente.
Emisiones atmosféricas	NOM-085-SEMARNAT-1994	Combustión de biogás (con fines calóricos o antorcha)	Límite máximo permitido para emisiones de humo, partículas, dióxido de azufre y óxido de nitrógeno. Los límites están en función de la capacidad de combustión (MJ/h) y la ubicación del proyecto.
Conexión a la red (CFE)	Reglas Generales de Interconexión al Sistema Eléctrico Nacional para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente.	Uso del biogás para la generación de electricidad y subsecuente conexión a la red eléctrica nacional CFE	Define los términos para generadores independientes de electricidad para conectarse a la de electricidad nacional, a través de un contrato de interconexión con CFE. Establece las condiciones para la introducción de la electricidad demandada por las empresas eléctricas asociadas con el proyecto cómo también los esquemas de compensación a los que el proyecto está autorizado cuando genera más electricidad de la que consume.

Operación, seguridad e higiene	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente-1988. Última Reforma DOF 30-08-2011, y el Segundo Listado de Actividades altamente riesgosas (SEMARNAT).	Generación y uso de biogás	La LGEEPA especifica que en el caso de los proyectos diseñados para generar, manipular y usar 500 kg o más de metano, el rancho debe registrarse como un actividad con un alto riesgo en sus actividades y por lo tanto deberá presentar un estudio de evaluación de riesgos y un programa de prevención de accidentes a la autoridad medioambiental apropiada, para así estar en línea con el Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas (SEMARNAT).
	NOM-005-STPS-1998	Almacenamiento de biogás	Regulaciones sobre condiciones de salud y seguridad en el lugar de trabajo, manipulación, transporte y almacenamiento de productos químicos peligrosos.
	NOM-026-STPS-2008	Líneas de distribución de biogás	Regulaciones sobre seguridad y salud, tuberías distribuidoras de biogás deben ser pintadas de amarillo, marcadas, identificadas y ser sujetas a mantenimiento. Debe estar indicado que las tuberías distribuyen fluidos inflamables.
	NOM-003-SECRE-2002	Líneas de distribución de biogás	Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo vía tuberías.
	NOM-002-STPS-2000	Riesgo de incendios a partir del biogás	Determina el grado de riesgo de incendios, incluye áreas donde deben existir extintores. De acuerdo a la norma, se deben instalar para el biodigestor equipos del tipo A, y equipos del tipo C para el caso de zonas eléctricas.
	NOM-001-SEDE-2005	Uso de generadores a biogás para la generación de electricidad	Utilización de instalaciones eléctricas
	NOM-029-STPS-2005	Uso de generadores a biogás para la generación de electricidad	Mantenimiento de instalaciones eléctricas en el lugar de trabajo.
	NOM-017-STPS-2008	Personal operativo del sistema	Equipamiento para protección personal en el lugar de trabajo.

Análisis

En este punto, vemos que es claro que en México, específicamente en la ZMCM existe un amplio conocimiento y estudio integral del tema de biogás. También observamos que existen tanto las regulaciones legales necesarias para llevar a cabo estos proyectos como la intención del apoyo a las investigaciones en torno al tema, sin embargo en la vida real el apoyo monetario no es suficiente y los permisos para la generación de energía no se otorgan o los trámites son enredados y largos. A pesar de ello, en México tenemos información en la que se revela el potencial de cada una de las entidades federativas para la generación de biogás. Así pues, se observa en la figura 12 que la ZMCM es la que posee mayor potencial de generación de metano (150-300 miles de ton/año), que como ya vimos se debe a la generación excesiva de residuos de esta parte del país. Entonces podemos concluir que en la ZMCM ciertamente se desaprovecha todo el poder energético de estos residuos, principalmente por la fuga de materia prima resultante de la mala gestión de los residuos, por la mala estructuración de los proyectos y por la no concesión de permisos. De ser lo contrario, los gastos públicos de energía de la zona serían menores. Si bien es cierto que es más complejo producir electricidad a partir de biomasa que con otros sistemas (CCA *et al.*, 2010) pero esta no es la única alternativa de uso, sino que también se puede generar energía calorífica, que como ya se mencionó es muy fácil adaptarla a términos reales una vez que el biogás haya sido purificado.

El proceso de purificación es otro reto a superar ya que es un proceso complejo y caro (Eaton *et al.*, 2104). No obstante, la opinión propia es que esta inversión vale mucho más

la pena que cualquier inversión en los energéticos fósiles ya que esto aseguraría la satisfacción de la demanda energética y la disminución de emisiones de gases contaminantes.

2.2.1. Biogás y otros tipos de energía térmica doméstica

La Secretaría de Energía reportó que en México en 2002 el consumo per cápita de energía fue de 61.5 millones kiloJoules (KJ) y un consumo nacional de 6,276.3 petajoules (PJ), con 38% de uso por el mismo sector de energía y un 62% de consumo final -0.4% por el sector residencial, 2.9% por el sector comercial, 1.7% por el sector público. Los usuarios finales consumen energía básicamente de fuentes fósiles en un 91.6% -carbón (3.6%), petróleo (65%), gas natural (22.3%), condensados (1%)-, mientras que el 6.9% es energía de fuentes renovables: geoenergía 1.46%, solar 0.07%, eólica 0.14%, hidroenergía 1.26%, biogás 0.02%, leña 2.82% y bagazo de caña 1.04% (Fernández *et al.*, 2002). La tabla 10 muestra el consumo total de energía por cada sector económico en el 2012, además expone el tipo de energía que cada uno de ellos utiliza y su consumo específico.

Tabla 10. Consumo de energía secundaria en 2012. La unidad de medición es pentajoules (PJ) (Fernández et al., 2012).

Sector	Consumo total	Tipo de energía más utilizada	Consumo
Transporte	2 282.4	Gasolinas y naftas	1 506.6
		Diesel	615.2
		Querosenos	120.3
Autotransporte	2 098.2	Gasolinas y naftas	1 505.7
		Diesel	556.6
Aéreo	121.2	Querosenos	120.3
Marítimo	32.7	Diesel	32.3
Ferrovionario	26.4	Diesel	26.2
Eléctrico	3.9	Electricidad	3.9
Industrial	1 530.6	Gas seco	548.3
		Electricidad	528.1
		Carbón	109.3
Residencial	771.3	Gas licuado	287.9
		Leña	256.7
		Electricidad	189.9
Agrícola	160.0	Diesel	114.7
		Electricidad	38.9
		Gas licuado	6.4
Comercial	127.4	Gas licuado	60.0
		Electricidad	50.4
		Gas seco	10.2
Público	30.2	Electricidad	30.2
Total nacional	4 901.98		

Como se observa en la tabla 10, el sector residencial se posicionó en el tercer lugar de consumo total de energía en México y a su vez fue el mayor consumidor de gas licuado de petróleo (gas L.P.) con 287.9 PJ. EL gas L.P. es la principal alternativa de combustible en nuestro país, ya que llega a más de 90 millones de mexicanos a través del uso doméstico (8 de cada 10 hogares lo utilizan). Actualmente, a nivel mundial, México ocupa el 4º lugar en consumo de gas L.P. (después de USA, Japón y China) y el 1º en consumo doméstico (PROFECO, 2004). El Sistema de Información de Energética (SIE) indica en

su portal web que para el 2013, el sector doméstico disminuyó el uso de gas licuado e incrementó el de gas natural, sin embargo el consumo del primero sigue siendo alto (tabla 11) (SIE, 2015).

Tabla 11. Tipos de energía consumida por el sector residencial en México del 2011 al 2015 (SIE, 2015).

Descripción	PJ	2011	2012	2013	2014	2015
Residencial		763.389	758.020	742.742	N/D	N/D
Energía solar		3.226	3.659	4.068	N/D	N/D
Leña		258.086	256.743	255.422	N/D	N/D
Total de petrolíferos		281.871	275.583	258.309	N/D	N/D
Gas licuado		280.584	274.377	256.958	N/D	N/D
Querosenos		1.287	1.206	1.351	N/D	N/D
Gas natural		31.189	32.060	33.803	N/D	N/D
Electricidad		189.017	189.976	191.139	N/D	N/D

La producción e importación de gas LP en México es responsabilidad exclusiva de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que realiza la venta de “primera mano”, en sus terminales de distribución a los particulares que cuenten con un permiso para su transporte, almacenamiento y distribución. Éstos son los que realizan la venta al público (PROFECO, 2004). A través de la tabla 12 se muestran algunas de las diferencias existentes en el consumo de ambos combustibles fósiles para el 2014: del volumen de su consumo, de movimientos aduanales (importación y exportación) y de sus precios reales al público.

Tabla 12. Cuadro comparativo de precios, consumo y movimientos aduanales de gas L.P. y gas natural en México

2014

	GAS L.P	GAS NATURAL
Venta de primera mano	1.59 dls/mmpc; en México también se produce (vease en venta a distribuidores)	0.14 dls/mmpc; 3.7934 dls/MMBTU
Importaciones (PJ)	USA (112.49 PJ)	USA (78.5% = 829.61 PJ), Qatar (7.6% = 4.12 PJ), Perú (6.0% = 3.14 PJ), Nigeria (4.3% = 2.66 PJ), Indonesia (1.5% = 0.8 PJ), Yemen (1.4% = 0.65 PJ), Trinidad y Tobago (0.38 PJ).
Venta a distribuidores	11 pesos/Kg	1.6437 pesos/ mmpc
Venta al público	7-9 pesos/lit	4.44 pesos/m ³
Exportaciones (PJ)	0.14 PJ*	USA (2.95 PJ)
Consumo total nacional	286.7 (millones de barriles por día)	6678.4 mmpcd
Consumo de combustible por el sector eléctrico	practicamente no usado	3864.4 mmpcd
Consumo de combustible por sector doméstico(mmpcd)	alta: 709.9 (182.9 mbd)	media: 94.3 (24.3 mbdglpe)
Inversión extra usuarios domésticos para consumo de combustible (pesos)	200-650 pesos/ tanque peq; 2500-4500 pesos/ tanque estacionario, medidor 800-2000	70.69 pesos/mensualidad + IVA, 300-350 pesos/ajuste de espreas, medidor
Poder calorífico (MJ/m³)	26,737.98	33.93
Energía generada (MJ)	2.6377	1.0551

Creación propia con información obtenida de: Estrada et al., 2013a y b; SENER, 2012a y b; PEMEX, 2014, 2015; CRE, 2014; DOF, 2010). *Países denominados como "Otros" en el Balance Nacional de Energía (Fernández et al., 2012). Dls= dólares; mmpc= millones de pies cúbicos; MMBTU= millones de BTU; PJ= Pentajoules; kg= kilogramos; lit= litros; m³= metros cúbicos; mmpcd= millones de pies cúbicos diarios; mbd= miles de barriles diarios; mbdglpe= miles de barriles diarios de gas L.P. equivalente; mbdgase= miles de barriles diarios de gasolina equivalente.

Las importaciones de algunas de estas fuentes de energía para consumo doméstico provocan una enorme volatilidad de sus precios al público, lo que genera gran incertidumbre sobre la evolución futura de los mismos (véase en *Entorno Económico*) (SENER, 2015). Por ello y por los problemas ambientales que su extracción -por medio del fracking y agotamiento de los yacimientos petrolíferos- y refinamiento conllevan es necesaria la transición al uso de ER como es el biogás de la biomasa. Los problemas ambientales se retomarán con más detalle en la sección *Ventajas y desventajas del biogás como energía térmica doméstica*. Enseguida se presenta un análisis en el que se exponen algunos puntos que se consideran importantes para considerar al biogás como excelente opción para la sustitución de los gases de origen fósil mencionados. En la tabla 13, de la matriz FODA sólo se incluyen las oportunidades y las amenazas, ya que éstas forman parte de la revisión del ambiente externo de un mercado o empresa.

Tabla 13. Análisis externo de la matriz FODA del uso del biogás como energía térmica doméstica.

AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión deficiente de RSU • Falta de interés político; otros intereses económicos • Falta de interés público (preferencia por gas LP y gas natural) • Competitividad limitada (precio del biogás) • Desarrollo dirigido por países primermundistas (MDL)
OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Importación de tecnología nueva y de alta calidad de países desarrollados (MDL) • Normatividad existente • Inconformidades públicas hacia nuevas reformas energéticas (vs. Fracking) • Recurso sostenible a largo plazo • Reduce contaminación • Entorno multicultural; economía diversificada en ZMCM

Elaboración propia a partir de Hernández, 2012; CONACULTA, 2014; DOF, 2014a y b, 2003, 2010; ONU, 2015, Estradas & Clemente, 2013, Deublein & Steinhauser, 2011, Ávila, 2009; Eaton et al., 2014, Hernández et al., 2004; PwC, 2014a y b; Cruz, 2009; LPDB, 2008; LGPGIR, 2014; LAERFTE, 2013; Larios, 2014; Matabuena, s.f.

AMENAZAS: Los resultados de la investigación bibliográfica y la realidad de la ZMCM indican que la recolección de los RSU y la educación ambiental es deficiente, dando como resultado que muchos de los residuos sean tirados en barrancos o en tiraderos a cielo abierto sin ninguna regulación. Aquello representa una limitante para que los proyectos y empresas pudieran establecerse, puesto que significa una fuga de energía, además de que la materia prima necesaria se reduce y con ello se alarga la línea de tiempo para la producción de biogás. De igual manera, si bien existen Normas Oficiales

reglamentarias que indican que los rellenos sanitarios deben ser clausurados después de cierto período de vida, éstos son utilizados a su máxima capacidad (en muchas ocasiones rebasando está). Así también se supone que los sistemas para monitoreo y aprovechamiento del biogás producido dentro, tienen que estar planeados desde la construcción del mismo sitio de disposición final: algunos no cuentan con ello o bien el aprovechamiento del biogás no es algo que tenga interés económico para los gobernantes. Así mismo encontramos que existen leyes, normas y reglamentos que rigen el área de ER, incluido el biogás, sin embargo el desarrollo real de la política en la ZMCM no tiene como prioridad la transición hacia la economía verde y ER, por lo que es muy claro que no importa en lo más mínimo el desarrollo sustentable. Finalmente, observamos que la preferencia pública es por el gas LP debido principalmente a la tradición, pero también a su bajo precio y a su mayor potencial de generación de energía. Aunque en años recientes ha sido sustituido por el uso de gas natural, la tendencia al uso del LP sigue incrementándose ya que al ser nuevo el gas natural representa muchos ajustes en la distribución y la instalación y cambios económicos y culturales. Como es de imaginarse, es el precio al consumidor de los gases de origen fósil el que se constituye como un factor muy importante para decidir cuál usar. El precio del biogás como energía térmica doméstica aún no ha sido definido, por tanto el mercado del biogás no ha podido proliferar. Por otro lado, como ya vimos muchos de los proyectos y empresas de aprovechamiento de biogás en el país son de alguna manera financiados o dirigidos por empresas transnacionales –como parte de los MDL- ocasionando esto que el flujo económico sea en dirección a los mismos, retrasando al país en su desarrollo económico.

OPORTUNIDADES: Aunque el financiamiento y el flujo económico sea en favor de los países primermundistas, la generación de empleos, el ahorro del gasto local, el establecimiento físico de las plantas en México y la importación de tecnología y técnicas nuevas y de alta calidad representan una ganancia para el país que aunque no es a corto plazo –con excepción de la importación de tecnología y técnicas- son útiles para el desarrollo integral del país traduciéndose como un punto a favor del desarrollo sustentable mexicano. En este mismo tenor, la existencia de normatividad en México que regula las ER, aunque con nociones básicas, de la existencia y poder calorífico del biogás, representa de igual manera un avance hacia la transición energética, con ello hacia la economía verde, consecuentemente hacia el desarrollo sustentable y finalmente es un punto a favor para el establecimiento y florecimiento del mercado del biogás. Hablando de las políticas y normatividades, existen muchas inconformidades conocidas tanto nacionales como internacionales en contra de algunas de las reformas recientemente implementadas, como por ejemplo la reforma energética constitucional de los artículos 25, 27 y 28. Esta reforma promueve la extracción del gas natural mediante la fracturación hidráulica (o *fracking*) y operación de la misma por empresas extranjeras, lo cual significa daños ambientales y económicos para el país. No obstante esto significa una oportunidad para la aceptación del biogás el cual, en vez de daños, promete beneficios por su manera de obtención y el tipo de materia prima que se utiliza. De esta manera, el biogás se constituye como un recurso sostenible, porque utiliza los residuos que el hombre genere mientras éste exista y al mismo tiempo reduce la contaminación que el mismo genera. Además, siendo que la ZMCM es un núcleo multicultural y económico, las opiniones y consideraciones de asociaciones y empresas mundiales y

nacionales tienen más peso en esta zona del país. Esto representa una ventaja más de las ER sobre las fuentes fósiles cuyos yacimientos disminuyen cada vez más y su extracción y la producción de energía a partir de ellos es altamente contaminante.

2.2.2. Ventajas y desventajas del uso del biogás como energía térmica doméstica

El desarrollar un plan integral para el aprovechamiento del biogás, lejos de representar un problema, es un beneficio para la economía, la salud pública y el medio ambiente de la comunidad local y mundial. Sin embargo también existen algunos factores en contra que deben ser tomados en cuenta para una mejor planeación de su manipulación y asegurar el éxito de los proyectos de aprovechamiento. En la tabla 14 se enlistan dichas ventajas y desventajas que, a consideración propia, implicaría el desarrollar un mercado de biogás en el contexto mexicano.

Tabla 14. Ventajas y desventajas del uso del biogás como energía térmica doméstica.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones de GEI • Reducción de la contaminación física y mejoramiento del paisaje • Conservación de los recursos no renovables • Reducción de la contaminación pluvial • Reuso y reciclado de desechos • Reducción de malos olores por rellenos sanitarios mal construidos o clausurados o por tiraderos a cielo abierto • Menor incidencia en la deforestación local • Mejoramiento de la estructura del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación sonora por maquinaria de planta • Malos olores por fugas • Contaminación de suelo y cuerpos de agua circundantes por mala construcción del relleno sanitario
Económicas	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de la dependencias de fuentes fósiles en peligro de extinción • Incremento en el PIB con producción y consumo de ER • Incremento de los ingresos tributarios • Desarrollo de la economía interna mexicana mediante la creación de empresas nacionales. • Importación de tecnologías y técnicas nueva y de alta calidad • Creación de empleos • Disminución de pobreza • Ahorro del gasto público en energía a cualquier nivel gubernamental, a mediano y largo plazo • Ingresos a partir de la comercialización de certificado de carbono • Estabilidad económica • Seguridad para la inversión extranjera 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la actividad petrolera • Pérdida de relaciones internacionales por importaciones de gas natural • Fuga de ingresos y utilidades al extranjero • Competencia con grandes multinacionales, en consecuencia alto precio al público • Alto gasto de inversión
Sociales y de Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de la educación y la conciencia ambiental • Bienestar social • Reducción de riesgo de enfermedades o complicaciones respiratorias • Reducción del nivel de patógenos en suelo, agua y aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconformidades por diferentes intereses sociales si se hicieran nuevas reformas constitucionales • Complicaciones respiratorias para los operadores de planta

Elaboración propia a partir de Deublein & Steinhauser, 2011; LAERFTE, 2013; Robles, 2014; Bacchetta, 2013; Martínez et al., 2008; Villaseñor et al., 2013; Hernández, 2012; Ávila, 2009; Eaton et al., 2014.

Así, en países donde las políticas públicas y la cultura le han dado más peso a estos y otros factores locales a favor del biogás durante la toma de decisiones para el bien social, los proyectos de aprovechamiento y del uso de biogás, específicamente como energía térmica doméstica, han tenido bastante éxito. Tal es el caso de algunas potencias mundiales cuyas redes de gas natural también son abastecidas con gas producido de descomposición orgánica (tabla 15 y Anexo 1).

Tabla 15. Ejemplos de uso del biogás como energía térmica doméstica. Tabla presentada en ponencia de la AMBB (Clemente y Estradas, 2013).

Proyecto	Localización	Flujo m ³ N/hora	Uso Final del Biometano	Concentración Final de CH ₄
C.L, Scenic View	Michigan, EUA	225	Red de Gas Natural	98 %
R.S, Rumpke	Ohio, EUA	6,000 – 7,000	Red de Gas Natural	96 %
G.L Windnau	Suiza	200	Red de Gas Natural	96 %
R.S. Bison Energy	Iowa, EUA	17,000- 19,000	Red de Gas Natural	97 %
R.S. UNH	New Hamp.EUA	9,000 – 10,000	Gas a turbinas	85 %
R.S, STEP	Suiza	225	Red de Gas Natural	96 %

En 2005, gracias a políticas públicas en favor de las ER, en USA se logró aumentar el PIB real en un 3% anual mientras que el crecimiento del consumo de energía fue sólo del 1% anual. Hoy en día existen alrededor de 100 plantas de biogás en el sector agricultura y 500 plantas acopladas a rellenos sanitarios (Deublein y Steinhauser, 2011).

Deublein y Steinhauser (2011) y Martínez y colaboradores (2008) mencionan que en Alemania, es muy común encontrar plantas de biogás de mediana y gran escala organizadas de manera centralizada. En este país se han desarrollado diversas tecnologías que combinan varios procesos y biomásas para la obtención del mismo. En los últimos años, el consumo de energía fue prácticamente plano, mientras que el PIB aumentó en un promedio de 1.7% anual (Tverberg, 2011).

En China, para el 2001 ya existían plantas de biogás con capacidades de hasta 0.150 millones de m³ de residuos. En Rusia, desde 1992 surgieron compañías que venden plantas domésticas de biogás que consisten en biorreactores que son alimentados con excrementos de animales de granja, domésticos y aves, con residuos de plantas de ornamento y agricultura y con residuos de comida. Además es opcional la inclusión de un sistema de generación de energía, de calefacción o un emisor infrarrojo (Deublein y Steinhauser, 2011).

Los países europeos son los principales precursores de esta tecnología, solo Alemania tiene 34.6% del total de capacidad de generación de energía a partir de biogás, seguido por USA y Reino Unido con el 20.2 y el 14.0% respectivamente. México tiene la posición número 23 con 0.3% (Estrada *et al.*, 2013a)

El auge del biogás a nivel internacional continuará los próximos años: a pesar de que gran parte de los trabajos de inversión en ER se concentran en unos cuantos países, entre ellos Brasil, China, India, USA y países miembros de la UE, dichas inversiones y

políticas en favor de las ER están ganando velocidad en Asia, América Latina y el Caribe, el Medio Oriente y África (Lins y Wolf, 2013).

Para el 2011 los países latinoamericanos ya contaban con construcciones de plantas de biogás, las cuales eran pequeñas y simples, similares a las de Asia donde los digestores eran de capacidades de entre 2 a 10 m³ (Deublein y Steonhauser, 2011).

Si bien en México existen elementos que constituyen un avance para la estructuración de una política consolidada relativa a bioenergéticos, todavía requieren de mayor maduración, coherencia y, sobre todo, de eficacia. Las políticas efectivas para desarrollar la bioenergía en Europa, Estados Unidos y otros países como Brasil, se han basado en una combinación de: a) marcos regulatorios favorables y preferenciales, con visión de largo plazo, b) subsidios o exenciones fiscales para los bioenergéticos, c) cargas impositivas altas aplicadas a los energéticos fósiles, d) capacitación en varios niveles. Ninguno de estos elementos se ha aplicado plenamente en México, donde existen muchas políticas contrarias, como subsidios a la electricidad de fuentes no renovables y los combustibles derivados del petróleo, tratamiento no preferencial a la electricidad de fuentes renovables, un marco regulatorio complejo y no favorable a los bioenergéticos e incluso descoordinación e inconsistencia entre las instituciones supuestamente encargadas de promoverlos. La ausencia de compensaciones efectivas por la reducción de emisiones de CO₂ en México es otro factor negativo. Es importante trabajar para eliminar estas barreras a la brevedad a fin de hacer realidad el alto potencial de desarrollo de la bioenergía en México (Masera *et al.*, 2011).

A opinión personal, se considera que también la sociedad es un factor importante para que un país se desarrolle plenamente. Por tanto, una sociedad con conocimiento y conciencia ambiental podrá llevar a cabo por sí misma acciones en pro del cuidado ambiental que desembocarán en un desarrollo económico nacional interno, o bien, ejercer presión sobre los gobernantes para el cumplimiento de sus planes de acción, influenciando directa o indirectamente en la creación o reformas de las políticas gubernamentales.

VII. CONCLUSIÓN

En el análisis realizado, se encontró que existe un orden establecido y reglamentado para el manejo integral de los residuos en la ZMCM, así como apoyos financieros y potencial de inversión para el desarrollo de ER, además de una regulación e información vigente sobre el tema de biogás al alcance de la población. Sin embargo, la realidad es que estas herramientas no se utilizan ni se llevan a cabo en forma estricta y por tanto existe un gran desaprovechamiento del poder energético de los residuos.

La posibilidad de la ampliación del uso del biogás como combustible doméstico limpio es factible, si se toma en cuenta que la inversión inicial del establecimiento de las plantas de aprovechamiento y la purificación del biogás es recuperada a largo plazo, debido a que la materia prima y la red de distribución no requieren inversión extra. Esto significaría una disminución en el gasto público a futuro.

A consideración personal, se plantea que existe la oportunidad de aceptación del biogás como energía térmica doméstica, a costas de que se replanteen las bases de educación ambiental y de los planes de desarrollo gubernamentales.

Así pues, en aras de la satisfacción de la demanda energética y el crecimiento económico (aumento del PIB), el uso de las ER crearía la independencia energética de los combustibles fósiles así como lo han demostrado las grandes potencias mundiales que además han alcanzado el bienestar social y ambiental.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de la parte interna del análisis de entorno para poder así determinar la viabilidad técnica, económico-financiera, legal, institucional y política-social del establecimiento de empresas realmente económico-activas. Así también, es necesario un análisis del mercado del biogás en aras de la obtención de un precio al público para el establecimiento de negocios comercializadores de biogás. De igual manera, a consideración personal se menciona que es de impetuosa necesidad un mejor asesoramiento político para lograr su inclinación hacia la economía verde a través de una mejor planeación de desarrollo de los gobiernos y una transición energética.

IX. REFERENCIAS

- Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México (AGU). (2014). Biogás del bordo poniente. Síntesis informativo. Consultado en abril 2015. <http://www.agu.df.gob.mx/sintesis/index.php/biogas-del-bordo-poniente/>
- Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás (AMBB). Consultada en enero 2015. <http://ambb.org.mx>
- Ávila S., E. (2009) *Biogás: Opción real de seguridad energética para México*. Tesis de maestría. Instituto Nacional Politécnico (IPN) y Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Ciudad de México, México.
- Bacchetta, V. L. (2013). Geopolítica del fracking, impactos y riesgos ambientales. *Revista Nueva Sociedad*. Núm. 244
- Beltrán R., L.; Estrada E., J; Herrera R., J.; Ojeda G., O.; Marin E., J. C.; Pérez D., N; Soria G., I. R.; Calixto C., P. S.; Angeles P., J. C. (2013) Balance nacional de energía 2012. Primera edición. Secretaría de Energía (SENER). México.
- Bonmatí, A. (2008) Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. In Andrés P., P. y Rodríguez R. (Eds.) *Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica* (pp.215-250). Documenta Universitaria Editorial. España. http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Cap%C3%ADtulo8.pdf
- Buenrostro, O. & Bocco, G (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(3), 251-263.

Cadle, J.; Paul, D.; Turner, P. (2010). *Business analysis techniques; essential tools for success*. British Informatics Society Limited. British Cataloguing. Chippenham, Reino Unido.

Capital de México (2014) Periódico *Capital de México. Finanzas, negocios y economía*; versión impresa. Año 03, época 1, núm. 554. México.

Centro de estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2014) *Análisis de los Informes sobre la situación económica, las finanzas públicas y la deuda pública al primer trimestre de 2014*. Cámara de Diputados. Palacio Legislativo de San Lázaro. Ciudad de México, México.

Cervantes, E. (2014) "Aprovechará NAICM biogás de basurero". Periódico *Reforma*, versión digital. México. Consultado en enero 2015.
<http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=335325&urlredirect=http://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=335325>

Chávez O., C. R. (Junio, 2011) *Gestión integral de los residuos en México: Una visión de futuro*. SEMARNAT. Ponencia presentada en *Semana Verde* en Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México, México.

Clemente R., A. y Estradas R, R. (2013) *Curso de fortalecimiento institucional a sistemas de biodigestión; aprovechamiento del biogás*. Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás A.C., Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). Ponencia Abril 25, 2013. Ciudad de México, México.

Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) (2010) *Agenda de sustentabilidad ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México*. Ciudad de México, México.

Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA); ENVINT Consulting; Asociación de Energía Sustentable de Ontario (Ontario Sustainable Energy Association, OSEA). (2010). Guía para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía renovable en América del Norte. Departamento de Comunicación y Difusión del Secretariado de la CCA. Montreal, Canadá.

Comisión Reguladora de Energía (CRE). (2014) Consultado en noviembre 2014. <http://www.cre.gob.mx/articulo.aspx?id=386>

Consejo Nacional de la Cultura y las Artes (CONACULTA) (2014). “Ciudad de México, la más cosmopolita de la época virreinal” Consultado en enero 2015. <http://www.inah.gob.mx/boletin/2-actividades-academicas/7384-ciudad-de-mexico-la-mas-cosmopolita-de-la-epoca-virreinal>

Consorcio Ingeniería Ambiental Mexicana (CIAM). Consultada en enero 2015. <http://www.ciam.mx/2014/>

Cortinas de N., C; Díaz, T. O., M. O.; Jiménez, P. J.; Mendoza U., R. (2013) Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos de 2012. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Cruz O., A. (2009) Bonos de carbono: Una alternativa de aprovechamiento de los subproductos del tratamiento anaerobio de lodos residuales. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): Subdirección general técnica.

Deublein, D. y Steinhauser, A. (2011). Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. 2a. edición. Alemania: Wiley VCH Verlag.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2003) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Miércoles 8 de octubre de 2003.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010) Secretaría de Energía; primera Sección.
Martes 30 de noviembre de 2010.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014a) Secretaría de Energía; quinta sección.
Lunes 28 de abril de 2014.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014b) Secretaría de Energía; primera Sección.
Viernes 19 de diciembre de 2014.

Doroteo O., J. C.; (2012) *Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno de un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México*. Tesis de maestría. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Estado de México, México.
<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5606/Juan%20Carlos%20Doroteo%20Otlica.pdf?sequence=1>

Eaton, A.; Díaz-López N., M.; Lokey; E. (2014) Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México. Versión 1.2.

Estrada E., J.; Hernández S., J.; Ontiveros M., J. A., Rodríguez B., F.; Jaime B., E. Y.; Ubaldo H., A. de A.; Chavarría H., I. R. (2013a) *Prospectiva del sector energético 2013-2027*. Secretaría de Energía (SENER). México.

Estrada E., J.; Hernández S., J.; Ontiveros M., J. A., Rodríguez B., F.; Jaime B., E. Y.; Ubaldo H., A. de A.; Chavarría H., I. R. (2013b) *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2013-2027*. Secretaría de Energía (SENER). México.

Fernández M., X.; Herrera R., J.; Ojeda G., O. Peregrina L., J. A.; Alcalá G., A.; Pérez R., C. y Graniel, O. (2012) *Balance nacional de energía 2011*. Primera edición. Secretaría de Energía (SENER). México.

Fernández, A.; Martínez, J. y Osnaya, P. (2002) Mexico's advances with regard to climate change 2001-2002. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Fernández C., A. y Sánchez O., M. (2007). Guía para la Gestión Integral para los Residuos Sólidos Urbanos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), Secretaría Estatal para Asuntos Económicos (SECO) y Laboratorio de Análisis de Residuos (LARE). Programa de Producción más Limpia. Dirección provisional de servicios comunales de la ciudad de La Habana.

Gahssemi, A. (2002) Handbook of Pollution Control and Waste Minimization. 1ª edición. USA, New Mexico: Marcel Dekker Inc.

Gobierno del Distrito Federal y SEMARNAT (GDF y SEMARNAT, 2010). *Relleno sanitario Bordo Poniente IV etapa; convenio de coordinación para el cierre y clausura definitiva*. Distrito Federal, México.

Gobierno de la República Mexicana (GRM) (2014). Nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México. Sustentabilidad y Restauración Ambiental. Ponencia 2104. http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/otros/naicm-presentacion-ambiental-5-de-septiembre_2014.pdf

Gómez L., C. S. (2011) Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. Revista *Fuente*. 9 (3). Guanajuato, México.

Hernández C., O. G. (2012) *Procesos y desafíos de la política del biogás en México y Brasil. Los casos de Salinas Victoria y Bandeirantes*. Tesis de maestría. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede México.

Hernández C., G. y Durán D., M. (2004) Seguimiento de la producción de biogás en un relleno sanitario clausurado. *Tecnología y Ciencia*, 19 (1), 14-20. IMIQ, UNAM. Distrito Federal, México.

Jaramillo, J. (2002) Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Una Solución para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales en Pequeñas Poblaciones. Universidad de Antioquia de Colombia. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS).

Juhasz, A.; Magesan, G. & Naidu, R. (2004). Waste management. USA, New Hampshire: Science Publishers.

Larios V., A. (2014) La energía renovable en México: Perspectivas desde el Balance Nacional de Energía 2012. *Economía Informa*. Núm. 385. 90-99

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE). (2013) Última reforma DOF 07-06-2013. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General y Secretaría de Servicios Parlamentarios de la República Mexicana.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). (2014) Última reforma 04-06-2014, última reforma. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General y Secretaría de Servicios Parlamentarios de la República Mexicana.

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) (2008) Nueva Ley DOF 01-02-2008. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General y Secretaría de Servicios Parlamentarios de la República Mexicana.

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) (2003) *Gaceta Oficial del Distrito Federal* 22 de abril de 2003. Asamblea legislativa del Distrito Federal, V Legislatura.

Lins, C. y Wolf, M. (2013) Energías renovables: Inversiones mundiales se suman a \$244 millones en el 2012; se observa un movimiento geográfico hacia países en vía de desarrollo. Frankfurt School- PNUMA/BNEF.

Martínez H., C. M.; Böttinger, S.; Oechsner, H.; Kanswohl, N. y Schlegel, M. (2008)

Instalaciones de biogás a mediana y gran escala en Alemania.

<http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/instalaciones-biogas-mediana-gran-t1886/124-p0.htm>

Masera C., O.; Coralli, F.; García B., C.; Riegelhaupt, E.; Arias Ch., T.; Vega G., J.; Díaz J., R.; Guerrero, P., G.; Cecotti, L. (2011) La bioenergía en México; situación actual y perspectivas. Cuadernos temáticos sobre Bioenergía, núm 4. *Proyecto: Bioenergy, sustainability and tradeoffs: Can we avoid deforestation while promoting bioenergy?* de Center for International Forestry Research (CIFOR). Red Mexicana de Bioenergía, A.C. México.

Matabuena C, P. (s/f) Aprovechamiento de biogás a partir de biomasa, obteniendo hidrógeno para transporte vehicular. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México, México.

Mejía, F. (2012) Separación de residuos, un negocio para particulares.

<http://www.iis.unam.mx/pdfs/iismedios/febrero2012/separacionresiduos.pdf>

Moctezuma V., A. (2012) “Los mexicanos producimos 30 millones de toneladas de basura al año”. Periódico digital *Desde la red*. México. Consultado en noviembre 2014.

<http://www.desdelared.com.mx/noticias/2012/2-opinion/0604-albino-0706141224.html>

Montoya R., I. A. (2005) Visitando a Mintzberg: su concepto de estrategia y principales escuelas. *Revista Escuela de Administración y Negocios*. Num 53. 84-93. Bogotá, Colombia.

Norma Oficial Mexicana 083- SEMARNAT-2003 (NOM-083-SEMARNAT-2003) (2004) DOF 20-10-2003. Primera sección. México.

Notimex (NTX) (2015) “México, el mayor reformador entre los países de la OCDE”. Periódico digital *Notimex*. México. Consultado en enero 2015. <http://www.notimex.com.mx/acciones/verNota.php?clv=229018>

Noyola M., L.; Hernández M., B.; Paredes A., R. P.; Ayala H., C. B. (2014) *Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2013*. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2013) La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord. Comunicado de prensa núm. 980.

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015) Consultado en enero 2015. http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=248&Itemid=235&limitstart=25

Paluck, N. (2014) “Mexico’s newly opened energy market attracts renewables”. Periódico digital *Renewable Energy World*. Consultado en enero 2015. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2014/05/mexicos-newly-opened-energy-market-attracts-renewables>

Panesso A., F.; Cadena J., A.; Mora-Flórez J y Ordoñez M., C. (2012) Estudio del biogás captado en un relleno sanitario para su posible utilización como combustible primario en la generación de energía eléctrica. *CONCYTEG*. 7 (88). 1170-1182.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) (2015). Consultado en enero 2015.

<http://www.gas.pemex.com/portaublico/>

Ponte de Ch., C. (2008) Manejo integrado de residuos sólidos: Programa de reciclaje. *Revista de Investigación del Instituto Pedagógico de Caracas*, 63, 173-200.

PricewaterhouseCoopers, S.C. (PwC). (2014a) Reforma energética de México; implicaciones y oportunidades en el sistema eléctrico nacional. México.

PricewaterhouseCoopers, S.C. (PwC). (2014b) Reforma energética; resumen del proyecto de decreto que expide las leyes secundarias en materia de hidrocarburos. México.

Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) (2004). Gas natural y gas LP. Entrega especial. *Revista del Consumidor*. México.
http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_04/gasnatytp_ene_04.pdf

Ramírez C., M. L.; Cuatutle T., G.; Méndez A., L. (2013). Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos, ¿Estrategia Sustentable? *Ciencia y desarrollo*. Artículo en línea, marzo- abril. <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/264/articulos/tratamiento-residuos-solidos-organicos.html>

Red Mexicana de Bioenergía (Rembio). (2015) Consultado en enero 2015.

<http://rembio.org.mx/>

Reyes, J. (2013) “Biogás, una oportunidad que en México se desperdicia”. Periódico digital *El Economista*. México. Consultado en septiembre 2014. <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2013/01/04/biogas-oportunidad-que-mexico-se-desperdicia>

Rhônealénergie-Environnement (2015) Regiones de biogás. Consultado en enero 2015. http://www.biogasregions.org/doc/shining_examples/popup.html

Robles M., B. (2014) Impacto social y ambiental del fracking. Senado de la República LXII Legislatura, Instituto Belisario Domínguez y Alianza Mexicana contra el Fracking.

Rojas A., S. (Marzo, 2013) Autoabastecimiento con energías renovables y eficiencia energética para estados y municipios: experiencias y retos de las asociaciones público-privadas. *Proyecto: Concesión de los residuos sólidos urbanos del DF que se encuentran en la etapa IV del relleno sanitario Bordo Poniente para la captura y aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica*. Sistemas Eléctricos Metropolitanos. Ponencia. <http://es.slideshare.net/jonathanpk/sem-concesin-rsu-df-bordo-poniente-biogs>

Sainz F., A. (1993) Análisis estratégico: la empresa y el entorno. Universidad de Alcalá. CICAÍ Reproducciones, S.L. Alcalá de Henares, España.

Secretaría de Energía (SENER) (2012a) *Estrategia nacional de energía 2012-2026*. México. http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/ENE_2012_2026.pdf

Secretaría de Energía (SENER) (Noviembre, 2012 (b)) Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México; energía geotérmica. Ponencia. México.

Secretaría de Energía (SENER) (2013) *Estrategia nacional de energía 2013-2027*. México. http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf

Secretaría de Energía (SENER) (2015) Fuentes de energía. Consultado en enero 2015. <http://beta.energia.gob.mx/webSener2/portal/mobil.aspx?id=1443&lang=1>

Secretaría de Energía y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (SENER y GTZ). (2006) *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. Programa Gestión Ambiental y Uso sustentable de Recursos Naturales: Promoción de Energías Renovables. México.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) (2015) *Criterios generales de política económica para la iniciativa de ley de ingresos y el proyecto de presupuesto de egresos de la federación correspondientes al ejercicio fiscal 2015*. http://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/ppef/2015/paquete/criterios_generales_pe_2015.pdf

Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2015). Consultado en enero 2015. <http://www.sedema.df.gob.mx/educacionambiental/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014) Residuos. Consultado en noviembre 2014. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Energía (INE) (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos en México*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Gobierno Federal (SEMARNAT y GF) (2009). *Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012*. México.

Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE). (2014) “Recolección, transferencia, selección y disposición final”. Consultado en noviembre 2014.

<http://www.obras.df.gob.mx/recoleccion-transferencia-seleccion-y-disposicion-final/>

Seoáñez C., M.; Alvarez S., A.; Chacón, A., A.; Ladaria S., P.; García-Monge, G., L.; Bellas V., E.; Seoáñez O., P. (2000) Residuos; problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción. Manual para políticos, técnicos, enseñantes y estudiosos de la Ingeniería del Medio Ambiente. 1ª edición. España: Ediciones Mundi-Prensa.

Sistema Biobolsa (2015) Consultada en enero 2015.

<http://www.sistemabiobolsa.com/que-hacemos/>

Sistema de Información Energética (SIE) (2015). Portal web consultado en abril 2015.

<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C03>

Tchobanoglous, G. y Kreith, F. (2002) Handbook of Solid Waste Management. 2ª edición. USA: McGraw-Hill Editors.

Timm, J. (2013) Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Manual para Docentes. Federación Argentina de Municipios.

http://www.famargentina.org.ar/images/enlaces/gestion_residuos_solidos_urbanos.pdf

Tverberg, G. (2011) ¿Es realmente posible desacoplar el crecimiento del PIB del crecimiento de la energía?

http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TVERBERG-desacople-PIB-energia_trad_AMADEUS.pdf

Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) (s/f) Planeación estratégica.

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/jimenez_o_yb/capitulo3.pdf

Valle P., J. y Ortega N., H. (2012) *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. México: Secretaría de Energía (SENER) de México.

Villanueva E., R. Rocha M., R.; Arango G., C.; López A., A.; Bücken, M., Castro G., A.; Arvizu F., J.; Flores O., A. (2014) Estudio del sitio de disposición final Prados de la Montaña para evaluar el potencial para el posible aprovechamiento de la energía residual. Proyecto financiado por el Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) de la UNAM en septiembre 2012 – 2013. Presentación en Seminario del PINCC en Mayo 2014.

Villaseñor F., E.; Soto, P.; Delgado A., R.; Herrera G., P.; Gómez-Mont U., E.; Martínez F., J.; Castillo R., B.; Vázquez, M. (2013) *Guía para el Aprovechamiento de Biogás en Rellenos Sanitarios Municipales*. México: Gobiernos Locales para la Sustentabilidad (ICLEI) y Secretariado para México, Centroamérica y el Caribe.

ANEXO 1 Ejemplos destacados de plantas de biogás en el mundo

Nb.	Name of biogas plant	Country/Region	Start of operation	Type and origin of feedstock (substrate)	Quantity (tons per year)	Capacity of cogeneration (kWel)	Thermal energy use	Electricity use
1	Ebersdorf	Austria/Styria	2004	Liquid pig manure, maize silage, corn-cob-mix, sugar beet chips	18 000	500	residential house, agricultural buildings, further use planned	internal use, feeding into the public grid
2	Gosdorf	Austria/Styria	2004	Liquid pig manure, grass silage, maize, sunflower/crop silage, rye, surface water	6 070	500	residential buildings, stables, maize drying plant	internal use, feeding into the public grid
3	Hainersdorf	Austria/Styria	2005	Maize silage, liquid pig manure	2 100	250	residential buildings, piggery, neighbouring houses	feeding into the public grid
4	Hartberg-Habersdorf	Austria/Styria	2005	Fats/greases (dairy), dairy sludge, Sewage sludge	12 480	124	hygienisation, digester, hall heating	internal use, feeding into the public grid
5	Mureck	Austria/Styria	2004	Liquid pig manure, liquid cattle manure, glycerine phase, maize silage, milled corn cobs, draft	17 000	999	supply of the plant 80% for district heating	feeding into the public grid
6	Saaz	Austria/Styria	2004	Liquid pig manure, grass silage, maize silage, corn-cob-mix, green pruning rye	12 850	500	2 blocks of flats	internal use, feeding into the public grid
7	St. Georgen	Austria/Styria	2002	liquid pig manure, grass silage, maize silage, milled corn cobs, poultry manure	9 525	330	chicken coop, piggery, residential house, warm water	internal use, feeding into the public grid
8	St. Stefan im Rosental	Austria/Styria	2003	Liquid pig manure, maize silage, silage grain maize, toppings, apples / pomace, vegetable matter, organic leftovers	10 220	2*500	neighbouring stables, 2 blocks of flats, fruit drying plant	internal use, feeding into the public grid
9	Zeitweg	Austria/Styria	2005	Grass silage, maize	12 500	500	federal armed forces	internal use, feeding into the public grid
10	Lutosa	Belgium/Hennegau	2002	Waste water from potato	1 400 000	2 250	steam is injected in the factory process (washing, peeler, drum, ...)	internal use, feeding into the public grid
11	Faascht Farm	Belgium/Luxemburg	2003	Liquid and solid manure (cow, pig), silage maize, wastes from food-industry, grass	12 000	471	5% by farm (dairy facilities), 07-5% by dryer of digestate, 22.5% losses	internal use, feeding into the public grid
12	Surizénergje	Belgium/ Namur	2006	Liquid and solid manure (cow), energy crops (maize, sugar beet,...), grass	4 110	104	heating of 7 houses and 0 flats	internal use, feeding into the public grid
13	GAEc du Bois Joly	France/ Pays de la Loire	2005	Solid manure (cattle, rabbit duck and hen) Liquid manure (rabbit)	1 300	30	4 place of anaerobic digestion, tank for liquid of anaerobic digestion, one building from rabbit, 2 houses (farmers are owners)	feeding into the public grid
14	Abbaye de Tamié	France/ Rhône-Alpes	2002	Whey, milking waters	5 260	---	the biogas is burnt in a gas-fired boiler, to produce warm water for the houses (abbey)	internal use
15	Fier et Nom	France/ Rhône-Alpes	2005	Sewage sludge (primary and biologic)	7 865	---	neighbouring office	---
16	Domaine des saugealles	Suisse/ Waadt	2007	liquid cattle manure, solid manure (cattle, horses), grass from the city, frying oil, kitchen wastes	2 770	100	heating digester, hygienisation of kitchen wastes, farmer houses warm water for the milking room and the farm, surplus part to dry wood and hay (in project)	internal use, feeding into the public grid
17	Karle	Germany/ Baden-Württemberg	2004	marc of fruits and vegetables, whole plant silage (maize, rye), organic waste (salads, vegetables), rape seed, pig liquid manure, cattle manure, mash and leftovers from fruit juice production	16 900	450	drying of the output of the biogas fertilizer, houses of the owners	internal use, feeding into the public grid
18	Kussmaul	Germany/ Baden-Württemberg	2007	liquid manure (cattle horse and pig)/dung, maize silage, marc of apples, grass silage, corn, waste of potato peeling, fat separator, crop cleaning, food rests, old bread	17 675	716	hygienisation	feeding into the public grid
19	Langenau	Germany/ Baden-Württemberg	2006	grass silage, maize silage, grass from landscape maintenance	15 000	3*180	50% are used for drying woodchips as fuel wood, for swimming pools	internal use, feeding into the public grid
20	Bad Königshofen	Germany/ Bavaria	2006	maize, grass, total vegetable silage	12 255	625	district heating system (wellness spa)	internal use, feeding into the public grid

21	Wolfring	Germany/ Bavaria	2002	chicken manure (spelt chaff litter), corn silage, grass cuttings, whole plant silage (grass, rape, sunflowers), silo maize silage	10 000	20% green houses, 10% houses, 10% paintshops, 5% corn drying, 15% woodchips, 10% home requirements	internal use, feeding into the public grid
22	Gehring	Germany/ Baden-Württemberg	2006	food leftovers, maize, grass silage, liquid manure and dung, offcuts of farming	3 880	hygienisation (70°C), houses and biogas plant, nearly all thermal energy is used	internal use, feeding into the public grid
23	Blowerk Hamburg	Germany/ Hamburg	2006	expired foodstuff, water, mixed waste, oil and fat	23 300	heat is provided to the nearby stadium, for hot water supply and air conditioning	
24	Engert	Germany/ Hessen	2005	externally procured manure, silo maize, rye, wheat, turnips	12 305	in winter the heat is completely used by 10 houses and 2 stables, in summer it is used by 70%	internal use, feeding into the public grid
25	Geveke	Germany/ Lower Saxony	2005	grass silage, maize silage cattle manure, ensiled corn cobs with leaves	14 381	2 houses and machine shop; in the future further 30 houses	internal use, feeding into the public grid
26	Formigara	Italy/ Lombardy	2006	liquid manure, silage (maize and other cereals), triticale milk serum	36 700	office building of the biogas plant	internal use, feeding into the public grid
27	Azienda Agricola Castello	Italy/ Veneto	2006	liquid manure, silage (maize, sorghum, rye and corn)	6 935	---	internal use, feeding into the public grid
28	Azienda Agricola La baita del Latte	Italy/ Veneto	2006	liquid manure, silage (maize, sorghum, rye and corn)	25 550	houses of the owners, stables	internal use, feeding into the public grid
29	Oczyszczalnia Soleskow	Poland/ Nowy Sacz	2007	Sewage sludge	9 000	heating of digesters, own needs	feeding into the public grid
30	Bioplinarna Farma Ihan	Slovenia/ Osrednje-slovenska regija	1993	liquid pig manure, waste from slaughterhouse industry	91 200	heating of digesters rooms of biogas plant, thermal treatment	internal use, feeding into the public grid
31	Ljubljana -KOTO	Slovenia/ Osrednje-slovenska regija	2007	liquid cattle manure, bio-waste (sorted biological waste), bio-waste (organic kitchen waste), wastes from slaughterhouse industry	7 500	district heating, steam production	internal use
32	Bioplin Kolar Marjan	Slovenia/ Pomurska regija	2007	liquid pig manure, maize silage, grain maize (corn cob mix), grass silage	14 450	heating of digesters, pig farm, grain drying plant	internal use, feeding into the public grid
33	Bioplinarna Nemscak	Slovenia/ Pomurska regija	2006	liquid pig manure, maize silage, wastes from slaughterhouse industry	86 000	heating of digesters, stables on farm	internal use, feeding into the public grid
34	Bioterm	Slovenia/ Savinjska regija	2003	liquid cattle manure, house organic waste, dairy rest	4 380	heating of digesters, stable living house, for thermal treatment	internal use, feeding into the public grid
35	Madrona (Segovia)	Spain/ Castilla y León	2003	sewage sludge	5 200	heating of digesters	internal use
36	Purines de Almazan (Soria)	Spain/ Castilla y León	1994	pig manure	112 500	heating of digesters	internal use, feeding into the public grid
37	Porgapores	Spain/ Cataluña	2006	pig manure, sewage sludge, food waste, vegetable oil	15 750	heating the farms through radial floor, heating of greenhouse	internal use, feeding into the public grid
38	Biogen	UK/ East of England	2006	liquid pig manure, food chain waste from local authorities, food processors, retailers	41 900	process only	internal use
39	Lowbrook	UK/ South West England	2008	liquid cattle manure, grass/maize silage, poultry litter	12 000	process heat, heating of dwellings, and other uses to be found e.g. drying of biomass	internal use, feeding into the public grid
40	Biocycle "Greenfinch"	UK/ West Midlands	2008	household and commercial source-segregated kitchen waste	5 000	process heat only	internal use

(Rhônalénergie-Environnement, 2015)