

XIII Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas
La administración frente a la globalización: Gobernabilidad y desarrollo
5, 6, 7 y 8 de mayo de 2009

Metodología sistémica para el desarrollo de un proyecto de Biogás

Oscar Montaña Arango
José Ramón Corona Armenta
Magdalena Montelongo Reyes
Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo
Centro de Investigación Avanzada de Ingeniería Industrial (CIAII)
Email: oscarma11@hotmail.com

RESUMEN

La metodología propuesta, está sustentada en el enfoque de sistemas, buscando desarrollar, promover y apoyar los proyectos de captura y aprovechamiento del biogás generado en los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales y que puedan ser reproducidos en distintos lugares de México. Estos proyectos de aprovechamiento del biogás, representan alternativas de generación de energía no convencional en México, donde el biogás recuperado es usado como combustible para la generación de energía eléctrica. Los proyectos de aprovechamiento y destrucción del metano (CH₄) contenido en el biogás son considerados a nivel internacional como proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio dada la importancia ecológica que revisten. Estos proyectos proporcionan beneficios económicos, sociales y contribuyen a minimizar la problemática ambiental, debido a que contribuyen a disminuir la emisión de gases e efecto invernadero a la atmósfera. Existen estímulos provenientes del Protocolo de Kyoto (Organismo Internacional), donde se procura apoyar la viabilidad de estos proyectos ambientales; a través de la negociación de bonos de carbono por recursos económicos que apoyen a la factibilidad del proyecto; destinados a los países que contribuyan a reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

PALABRAS CLAVE: Metodología sistémica, residuos sólidos, biogás

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de aprovechamiento de biogás generados a partir de la materia orgánica de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos para generar energía eléctrica no han tenido el desarrollo adecuado en el país, debido a que diferentes factores han impedido o limitado su proceso y desarrollo; entre los que están: el desconocimiento de las metodologías; si se considera que lo escrito hasta el momento es muy limitado respecto a procedimientos técnicos y legislación en la materia o porque la información específica no se da a conocer y las cuestiones económicas (falta de financiamientos, apoyos gubernamentales, inversión privada), además, los procesos burocráticos hacen muy lento y obstaculizan el desarrollo de éste tipo de proyectos.

La investigación toma como referencia, algunos proyectos ejecutivos realizados en otras regiones del país (promovidos por la SEDESOL) y la planta de aprovechamiento de biogás construida en Salinas Victoria, Nuevo León (la única hasta el momento operando en México).

La metodología desarrollada se basa en un enfoque sistémico, que pretende contribuir y ser una base para guiar proyectos de esta índole, donde se describen los factores que impactan en su desarrollo.

MARCO REFERENCIAL

Confinación de los residuos sólidos municipales

Los residuos sólidos municipales (RSM) generalmente son confinados en sitios de disposición final (SDF); cuando estos sitios son construidos adecuadamente (cumpliendo normas y aspectos de ingeniería) se les denominan rellenos sanitarios (RS).

Un RS es una obra de ingeniería realizada para la correcta confinación de los RSM, con el fin de evitar la contaminación, tanto del subsuelo como de los mantos acuíferos subterráneos. La técnica aplicada en un relleno sanitario consiste en depositar la basura en un área determinada, cubriéndola con capas de arcilla diariamente y compactándola para reducir su volumen. (Fernández, 2006).

Todos los RSM sufren cierto grado de descomposición, pero la fracción orgánica es la que sufre los cambios más importantes; la cual depende del tipo de materia orgánica. Los subproductos de la descomposición están integrados por el biogás (mezcla de gases), líquidos y sólidos; la descomposición se lleva a cabo a través de procesos químicos y biológicos.

El biogás se produce de la descomposición de los materiales orgánicos, siendo un proceso por descomposición anaerobia. Los dos principales gases formados son metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2), (SEDESOL, 1996).

En la tabla 1 se presentan las características típicas de los componentes del biogás.

Tabla 1. Componentes del biogás

Componente	% Componente (volumen base seca)
Metano	47.5
Bióxido de carbono	47.5
Nitrógeno	3.7
Oxígeno	0.8
Hidrocarburos parafínicos	0.1
Hidrocarburos aromáticos y cíclicos	0.2
Hidrógeno	0.1
Ácido Sulfhídrico	0.01
Monóxido de Carbono	0.1
Compuestos trazas	0.5
Capacidad calorífica	300-550
Gravedad específica	1.04
Contenido de humedad	SATURADO
Temperatura (en la fuente)	41°C

Fuente: SEDESOL, 1996

La composición de los RSM en el territorio nacional no es homogénea, responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población. Así, la composición en la zona sur del país (estados como Chiapas y Tabasco) tiene mayores contenidos de residuos de jardinería (ver Tabla 2), mientras que en las zonas urbanas este mismo producto aparece en menor proporción (OPS, 2003).

Tabla 2. Composición de los residuos por zona geográfica

Sub-producto	Frontera Norte	Norte	Centro	Sur	D.F.
Cartón	3.97	4.37	1.83	4.84	5.36
Residuos finos	1.37	2.23	3.51	8.08	1.21
Hueso	0.50	0.64	0.27	0.25	0.08
Hule	0.28	0.20	0.09	0.35	0.20
Lata	2.93	1.41	1.70	2.97	1.58
Material ferroso	1.18	1.48	0.29	0.40	1.39
Material no ferroso	0.23	0.65	0.94	1.70	0.06
Papel	12.13	10.56	13.68	8.85	14.58
Pañal desechable	6.55	8.31	6.01	5.72	3.37
Plástico película	4.79	5.12	1.66	1.72	6.24
Plástico rígido	2.90	3.15	1.95	1.23	4.33
Residuos alimenticios	26.97	21.27	38.54	16.33	34.66
Residuos de jardinería	16.09	19.76	7.11	26.98	5.12
Trapo	1.20	2.41	0.81	2.16	0.64
Vidrio de color	2.06	0.93	4.25	0.60	4.00
Vidrio transparente	4.59	5.25	5.05	3.72	6.77
Otros	11.50	12.27	12.33	14.10	10.41
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Las cantidades están en % respecto a su peso

Fuente: OPS 2003.

Modelos para la recuperación de biogás en rellenos sanitarios

Los modelos matemáticos son herramientas útiles y económicas para la estimación del potencial de generación del Gas del relleno sanitario (GRS) en el sitio. Los resultados del modelo pueden también ser usados para evaluar los riesgos potenciales asociados a la migración/emisión del GRS, y para evaluar la factibilidad del proyecto de administración del GRS.

Hay numerosos modelos disponibles para calcular la producción del GRS. Todos estos modelos pueden ser usados para elaborar una curva de generación que permita predecir su comportamiento a lo largo del tiempo. La totalidad del gas existente y la tasa a la cual es generado puede variar de alguna manera según los diferentes modelos que se usen, no obstante, el parámetro de entrada que es común a todos ellos es el de la cantidad de residuos que son degradables. Los demás parámetros de entrada pueden variar dependiendo del modelo que se use, pero por lo general, estos están determinados por un número de variables incluyendo las que inciden directamente en la generación del GRS, incertidumbres en la información disponible sobre el sitio, y la forma en que la operación de la extracción del GRS afecta la generación en sí misma, en los casos en que se induce infiltración de aire. Otro factor importante es el espacio de tiempo que se asume entre el momento de la disposición del residuo y el comienzo de la descomposición anaeróbica o fase metagénica dentro de la masa de residuo. (Augenstein, 1991)

El modelo más representativo es el Scholl Canyon; este modelo es el más comúnmente utilizado y aceptado en Norte América y Sur América. Este modelo es sencillo de entender y aplicar, y está generalmente aceptado por las agencias en instituciones financieras que están interesadas en apoyar estos tipos de proyectos (Banco Mundial, Protocolo de Kyoto, EPA).

Modelo Mexicano

El Modelo Mexicano de Biogás provee una herramienta automática para la estimación de la generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios municipales en México.

Este modelo fue desarrollado por SCS Engineers bajo un contrato con el programa Landfill Methane Outreach (LMOP) de la U. S. EPA. El Modelo Mexicano de Biogás puede ser utilizado para estimar generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios mexicanos que cuenten o planeen tener un sistema de recolección de biogás.

El Modelo Mexicano de Biogás está elaborado en una hoja de cálculo en Excel y está basado en una ecuación de degradación de primer orden. Este modelo requiere que el usuario alimente datos específicos tales como el año de apertura, año de clausura, índices de disposición anual, precipitación promedio anual y eficiencia del sistema de recolección. Para sitios donde se conocen los índices de disposición año con año, el modelo estima la generación de biogás en un año dado usando la siguiente ecuación [1]:

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2kL_0M_i (\ell^{-kt_i}) \quad [1]$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n$ = La suma desde el año de apertura + 1 (i=1) hasta el año de proyección (n);

Q_M = Generación máxima de biogás (m³/año);

k = Índice de generación de metano (1/año);

L_0 = Generación potencial de metano (m³/Mg);

M_i = Masa de residuos sólidos dispuestos en el año i (Mg);

t_i = Edad de los residuos dispuestos en el año i (años).

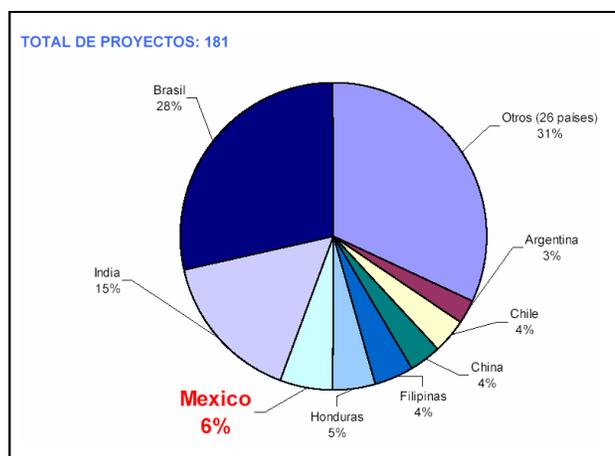
Los valores de k y L_0 varían dependiendo de la precipitación anual y podrán ser usados para producir proyecciones de generación de biogás en rellenos sanitarios localizados en las diferentes regiones de México. (Guzzone/Muller, 2003).

PROYECTOS DE BIOGÁS EN EL MUNDO

Los proyectos de aprovechamiento de biogás a partir de SDF son una práctica común en los países desarrollados, a nivel mundial destacan Alemania, Suecia, Estados Unidos y Reino Unido, por tener la mayor cantidad de proyectos con explotación del biogás.

En el año 2005 a nivel mundial, se presentaron ante la junta directiva del Banco Mundial los proyectos de factibilidad de aprovechamiento de biogás a partir de SDF mostrado en la gráfica 1, los cuales requieren su validación para recibir apoyo, se observa que México tiene una participación del 6% en este tipo de proyectos, Cervantes (2005).

Gráfica 1. Proyectos presentados para validación ante el Banco Mundial en el año 2005



En Latinoamérica (tabla 3) de acuerdo a información del Banco Mundial, existen 5 proyectos en marcha para generar energía eléctrica a partir del biogás capturado de un SDF.

Tabla 3. Proyectos existentes en América Latina

Proyecto Rellenos Sanitarios	Disposición promedio diaria (tpd)	Generación eléctrica (MW)
Monterrey (México, GEF) Salinas Victoria	4,500	7

NovaGerar (Brasil, NCDF) Adrianopolis	4,000	12
Maldonado (Uruguay, GEF) Las Rosas	145	0.9
Olavarria (Argentina, CDCF)	100	Solo quema
México Proyecto Paraguas Manejo de RSU (MDL)	2 ciudades	21

The World Bank, 2005

El biogás aprovechado de Europa ha crecido un 13,6% en el 2006, con respecto al 2005, rondando los 5.3 millones de toneladas equivalente petróleo. Esta estadística la proporcionó el último barómetro del Euroserver y no incluye el biogás quemado en antorcha.

Cabe destacar, que el país líder en producción de biogás es Alemania y su desarrollo actual de la energía primaria que proviene del biogás; resulta principalmente de la producción de electricidad de pequeñas plantas a partir de la cogeneración.

En Corea del Sur acaba de ser inaugurada la mayor central eléctrica alimentada de basura, ubicada en la ciudad de Incheon, al oeste de Seúl, esta planta puede producir 50 megavatios y ahorrará medio millón de barriles de crudo al año.

PROYECTOS DE BIOGÁS EN MÉXICO

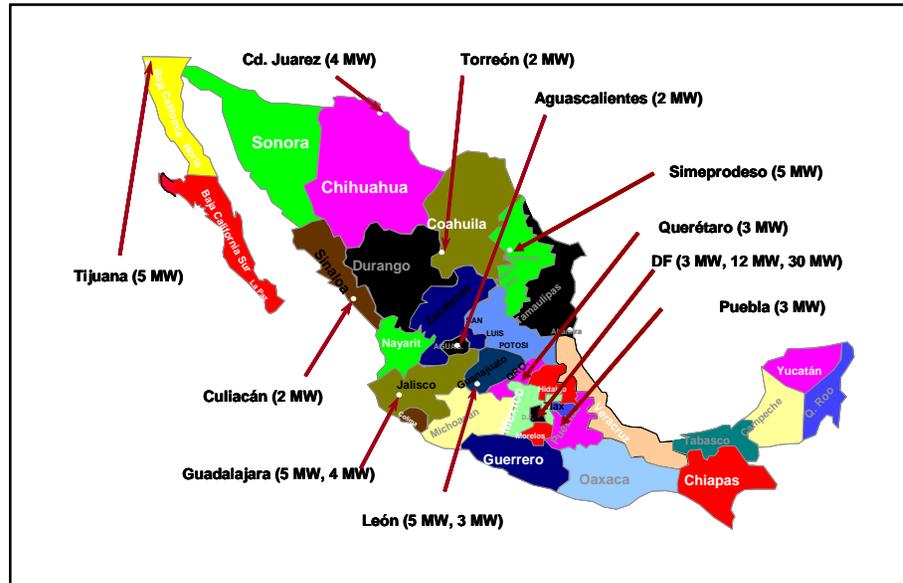
Debido a los logros operacionales de la planta en la zona metropolitana de Monterrey, la SEDESOL apoya estudios de factibilidad en 11 ciudades del país para la replica del proyecto del biogás. Algunas de las ciudades y municipios con los que ya se trabaja son: Ciudad Juárez, León, Aguascalientes, Chihuahua, Querétaro, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli y Vallarta, sitios en donde se concentra alrededor del 10% del total de la basura que generan las zonas urbanas (Modelo Mexicano del Biogás, 2004).

En el norte de México se han realizado estudios en SDF que tienen un gran potencial de aprovechamiento de biogás: Hermosillo, Nuevo Laredo, Ensenada, Tijuana, Mexicali,

Ciudad Juárez, Chihuahua, Monterrey (segunda etapa), Ciudad Victoria y Saltillo (COCEF, 2006).

La Figura 1 muestra los sitios potenciales para realizar proyectos de generación de energía con gas de relleno sanitario en todo el territorio nacional, así como la capacidad de energía eléctrica en cada sitio.

Figura 1. Sitios con potencial de realizar proyectos de biogás en México (SEISA, 2006)



De los sitios potenciales para realizar proyectos de biogás en el corto plazo destacan al menos tres para replicar la experiencia y las lecciones aprendidas en el proyecto de Monterrey:

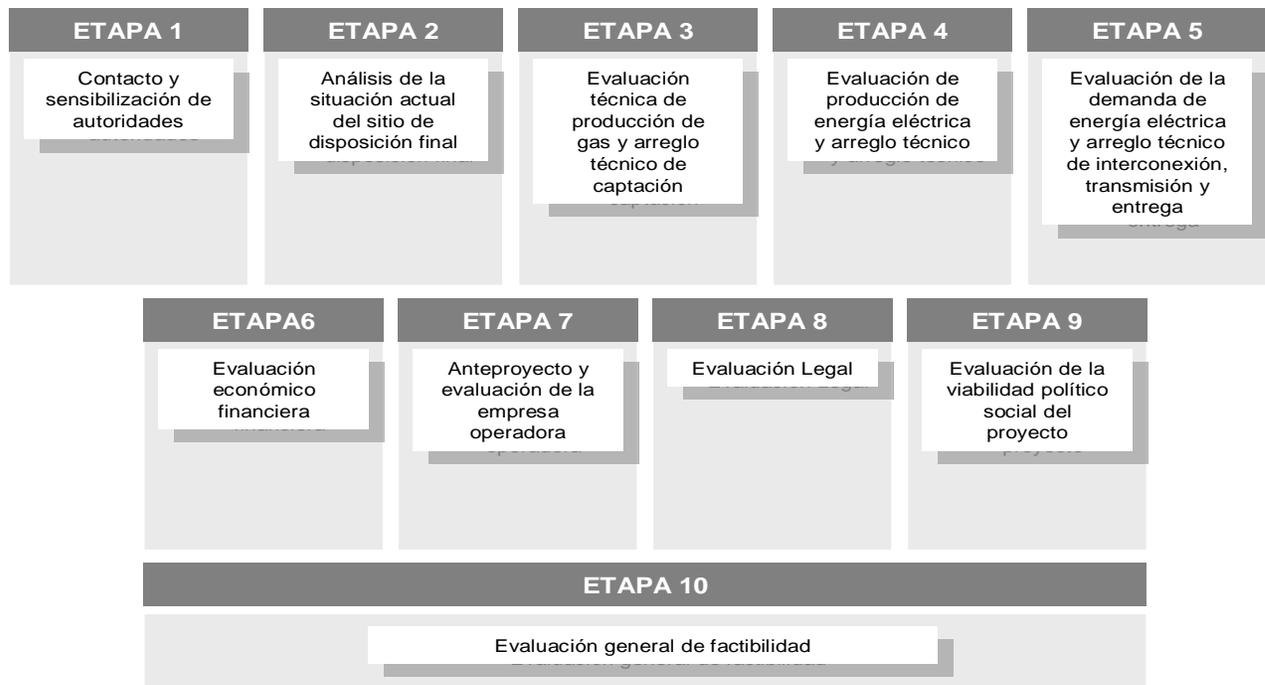
- Monterrey II
- León
- Guadalajara

METODOLOGÍA SISTÉMICA PROPUESTA PARA DESARROLLAR PROYECTOS QUE APROVECHEN EL BIOGÁS GENERADO EN SDF

La metodología propuesta consta de 10 etapas, cuyo desarrollo permitirá que un SDF sea identificado como propicio para la instrumentación de un proyecto para la captura y uso del gas metano; asimismo, permitirá hacer la evaluación técnico-económica del proyecto, evaluar los aspectos legales, políticos, sociales y ambientales inherentes al

mismo, y finalmente, integrar todos estos factores para determinar la viabilidad del proyecto. En el curso de desarrollo de la metodología debe existir estrecha vinculación con la SEDESOL, organismo nacional que promueve y apoya este tipo de proyectos.

Figura 2. Metodología para el proyecto de biogás



Etapas de la metodología

1. Contacto y sensibilización de las autoridades

Para cumplir con este punto, que es uno de los más importantes para llevar a cabo el programa que se presenta, se deben desarrollar y cumplir los siguientes puntos:

- Contacto con autoridades para programar reunión inicial.
- Preparación de información documental del proyecto donde contengan los siguientes puntos: alcance, objetivos, tareas y programas a cumplir.
- Presentación ejecutiva del Proyecto.
- Reunión con autoridades.

- Sensibilización.
- Explicación del proyecto.
- Agenda.
- Designación por parte de autoridades de un representante del proyecto, el cual deberá cumplir con las siguientes funciones: dedicar tiempo al proyecto para cumplir con tareas específicas y atender a los consultores, dar seguimiento al proyecto, tomar decisiones y proporcionar información.

2. Análisis de la situación actual del SDF

Se desarrolla el marco referencial del relleno sanitario que da servicio a la ciudad, donde se describirá:

- Ubicación.
- Extensión.
- Áreas clausuradas.
- Años de operación.
- Tipos de residuos que recibe (domésticos, comerciales, industriales, etc.)
- Cantidades de residuos recibidos (por día y año).
- Municipios y localidades de donde provienen los residuos y porcentaje depositado del total, así como la cantidad que representan los particulares e industriales no peligrosos.
- Clasificación de los residuos de acuerdo a su tipo: alimentos, plásticos, ropa, vidrio, jardinería, entre otros.
- Infraestructura.
- Operación y controles llevados en el relleno sanitario.
- Estudios que se han llevado a cabo.
- Administración (tipo de organización, organigrama, recursos humanos, funciones, horarios de trabajo, políticas y manuales).

3. Evaluación técnica de producción de biogás y arreglo técnico de captación

– Evaluación técnica de producción de biogás

Se estima el potencial de recuperación de biogás utilizando por el modelo mexicano, el cual emplea una ecuación de primer orden para calcular en forma automática la cantidad de biogás generado en un determinado tiempo; así como el metano producido.

El biogás es generado por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos sanitario y puede ser recuperado bajo la operación de un sistema de captación de biogás construido en el mismo relleno sanitario. La siguiente información es necesaria para estimar la generación y recuperación del biogás:

- Capacidad de diseño del relleno sanitario.
- Cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario, o el índice de aceptación anual estimado.
- El índice de generación de metano (k).
- La generación potencial de metano (L_0).
- La eficiencia del sistema de recolección de biogás.
- Los años de operación a la fecha y los años que se planea operar.

El método utiliza una ecuación de degradación de primer orden, que asume que la generación de biogás llega a su máximo después de un periodo de tiempo antes de la generación de metano. El modelo asume que el período es de un año, desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás; asimismo, el modelo asume que después de un año la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida.

– Arreglo técnico para la extracción del biogás

Una vez obtenidos los resultados se procede a diseñar el arreglo técnico para la captación de biogás, en el cual se tomará en cuenta:

- Superficie vertedero
- Pozos de captación
- Fondo impermeable del vertedero
- Colectivos
- Separadores
- Soplantes
- Antorcha de seguridad

4. Evaluación de producción de energía eléctrica y arreglo técnico

La etapa de producción de energía eléctrica consiste en transformar la energía térmica contenida en el biogás en energía eléctrica. Incluye las etapas de generación y transformación de nivel de voltaje. El proyecto de generación de energía eléctrica será concebido en función de las características de la producción de biogás y la estimación de la producción de energía eléctrica.

Los factores que se consideran para la producción de energía eléctrica son:

- La captación de metano; que se encuentra directamente relacionada con la captación de biogás.
- % de captación de la producción total de metano, que será la cantidad que habrá de considerarse como energía térmica al aplicar el factor de 8,460 kilocalorías por m³.
- Evaluación del potencial de energía eléctrica disponible.
- La eficiencia de la conversión termoeléctrica de los generadores.
- El factor de planta anual de los generadores.

5. Evaluación de la demanda de energía eléctrica y arreglo técnico de interconexión, transmisión y entrega

Se identifica lo siguiente:

- La clasificación donde se encuentra ubicada la ciudad de acuerdo a La Comisión Federal de Electricidad.
- La demanda de energía eléctrica del Estado y de la ciudad, necesidades de transmisión y que centrales las proporcionan.
- Tipo de combustible que utilizan las centrales Eléctricas que distribuyen la energía eléctrica.
- En transmisión, los niveles de tensión utilizados por la Comisión Federal de Electricidad en el Estado y la ciudad.
- En distribución, los flujos de energía y las localizaciones de las subestaciones eléctricas en el área donde se localiza el relleno sanitario.
- Determinación de la subestación donde es más conveniente transmitir la energía eléctrica.

6. Evaluación económica financiera

Se determinan los indicadores financieros que determinen la viabilidad del proyecto, utilizando fuentes de información como: producción de metano del sitio de disposición final, inversiones, cotizaciones con empresas proveedoras de tecnología, costos operativos y administrativos, costos de servicio de transmisión e ingresos de posibles compradores de la energía eléctrica generada.

7. Anteproyecto y evaluación de la empresa operadora

- Se busca desarrollar un prototipo de empresa operadora de acuerdo a las características de operación vigentes.
- Se determina el esquema de sociedad más conveniente.
- Se determinan los alcances que posibilita la normatividad y la figura de producción de energía eléctrica para la participación dentro de la sociedad

8. Evaluación legal

Se busca determinar la factibilidad de funcionamiento de la empresa operadora propuesta y la viabilidad legal del proyecto.

Desde un análisis de la legislación vigente, se identifican las barreras legales para el desarrollo, instrumentación y operación del proyecto. Las cuales se enfocan a cuatro aspectos:

- ¿Es la explotación y uso del biogás generado en sitios de disposición final una atribución del dominio exclusivo de la nación ?
- ¿Puede ser explotado por particulares?
- ¿Puede producirse energía eléctrica por particulares?
- ¿Dentro de que modalidad?

9. Evaluación de la viabilidad político-social del proyecto

Se evalúa la voluntad política de los principales actores e identifican los elementos de negociación.

- Se identifican los principales actores y se mantiene contacto y retroalimentación durante el proyecto.
- Se entrevistará a los principales actores, con la finalidad de conocer su voluntad política.

10. Evaluación general de factibilidad

- Se analizan los productos desarrollados y se identifica la factibilidad del proyecto; así como los factores de éxito y los puntos críticos que determinan el éxito del proyecto.

- Se desarrolla una matriz de impacto cruzado que permita analizar la viabilidad del proyecto de forma integral.

LIMITACIONES EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE BIOGÁS EN MÉXICO

Las principales barreras y problemas que han impedido la aplicación para desarrollar proyectos de biogás en nuestro país, están asociadas con las estructuras político-administrativas actuales y se resumen de la siguiente manera:

- Limitados tiempos políticos y de gestión de los gobiernos municipales.
- Rompimiento continuo de la curva de aprendizaje por parte de las autoridades municipales.
- Falta de leyes de protección al medio ambiente en materia de emisiones de sitios de disposición final.
- Desconocimiento de las oportunidades y beneficios de la generación eléctrica con el biogás de los sitios de disposición final.
- Poca claridad en los esquemas de asociación entre los municipios y los inversionistas privados para formar sociedades de autogeneración, y falta de incentivos para propiciar su asociación.
- Poco financiamiento para efectuar los estudios de preinversión.
- Información limitada sobre la cantidad y características de los rellenos sanitarios y sitios de disposición final existentes en nuestro país.
- Resistencia de empresas concesionarias que operan los rellenos sanitarios.
- Complicada tramitología para formalización de los proyectos.
- Incertidumbre de los inversionistas para recuperar su capital.
- Falta de un programa oficial que facilite la implantación de los proyectos.
- Barreras de orden institucional, político y económico.
- La falta de valorización de los rellenos como fuente de energía.
- La carencia de un esquema de incentivos que aliente nuevos proyectos.
- Marcos legislativo y regulatorio adecuados.

- Falta de información sobre la viabilidad técnica del proceso y sus características operativas.
- Falta de capacitación técnica en el área.
- Escasa comprensión de la problemática integral de los residuos sólidos.
- Falta de planes municipales que establezcan alternativas viables de solución con base en el conocimiento sólido de su problemática, que permita la toma acertada de decisiones.
- Falta de esquemas de recuperación de inversiones.
- Recursos humanos materiales, técnicos y financieros limitados.
- Falta de programas de mantenimiento correctivo y preventivo
- Equipos y tecnologías obsoletas y en mal estado para el manejo de los RSM.
- Escasa normatividad municipal para el manejo integral de los RSM.
- Falta de apoyos y asignación de recursos financieros en este sector por parte de las autoridades municipales (dan preferencia a otro tipo de obras y servicios que consideran de mayor prioridad).
- Falta de estructuras de recuperación de costos de financiamiento y de operación, así como la baja proporción de facturación. (OPS, 2003).

CONCLUSIONES

El trabajo presentado expone la problemática que existe en México para el desarrollo de este tipo de proyectos, teniendo como principal punto el desarrollo de metodologías y su relación con una factibilidad real; donde se identifican las etapas que deben cumplir y su interrelación existente.

Considerando que se han realizado numerosos proyectos ejecutivos y hasta la fecha sólo uno se ha concretado, es necesario revisar las metodologías usadas y hacer nuevas propuestas para mejorar la factibilidad de este tipo de proyectos y no sólo se queden en papel.

Los motivos por los cuales dichos proyectos se hayan interrumpido o demorado han sido muy variados; debido a lo anterior, en el trabajo se dan a conocer las limitantes que frenan el desarrollo de los proyectos, lo cual se acentúa por plantear y tratar los problemas de forma aislada; siendo que este tipo de proyectos son multidisciplinarios y se les debe dar un tratamiento sistémico..

Las partes involucradas (universidades, autoridades, empresas privadas e inversionistas, etc.), deben aprovechar que existe una disposición internacional favorable para estos proyectos, dado que se tienen las condiciones propicias para un mayor desarrollo y el apoyo por parte de instituciones gubernamentales (SEDESOL, CONAE, SEMARNAP, SENER).

REFERENCIAS

1. Augenstein, D., and J Pacey, 1991. *"Landfill Methane Models" 14th Annual Landfill Gas Symposium Proceedings, Research Triangle Park .*
2. Banco Mundial (Conestoga-Rovers & Associates), 2004. *Manual para la preparación de proyectos de generación de energía a partir de gas de rellenos sanitarios en América Latina y El Caribe*
3. COCEF, 2006. *La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el impulso al uso eficiente de energía y energías renovables en la frontera México-EUA.*
4. Fernández, 2006. *Sistema integral para el manejo ecológico y procesamiento de desechos, SIMEPRODE, Monterrey, Nuevo León.*
5. Guzzone B. / Muller D. & Associates, 2003. *Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás.*
6. Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2003, *Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales.*
7. SEDESOL, 1996. Secretaría de desarrollo social. Subsecretaría de desarrollo urbano y vivienda. Oficialía mayor. Dirección general de infraestructura y equipamiento. *Manual para la operación de rellenos sanitarios.*

8. SEDESOL, 2004. *Modelo Mexicano de Biogás. La basura como fuente alterna de energía.*
9. SEISA, 2006. *“Generación de Energía Renovable en Nuevo León, sus implicaciones y estrategia de replicación en México”*
10. The World Bank (Terraza H./Bartone C./Grajales F), 2005. *Mejorando las Prácticas en la Gestión de RSU por medio del Financiamiento con Carbono.*
11. World Bank, 2007. *Olavarría landfill gas recovery.*