

# Propuesta para la instalación de una planta de biogás con capacidad inicial de 1,000 toneladas al día de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos (FORSU) de la Ciudad de México

Lucía M. Gutiérrez Castro<sup>1</sup>

## Antecedentes y justificación

En el Distrito Federal se generan aproximadamente 13,000 ton/día de residuos sólidos urbanos (RSU) de los cuales más de 4,800 ton/día pertenecen a la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), de éstos se procesan actualmente 2,500 ton/día en la planta de composta de Bordo Poniente (PCBP)<sup>4</sup> ubicada al oriente de la Ciudad de México, en los límites con el Estado de México. Las 13 estaciones de transferencia existentes en la zona metropolitana de la Ciudad de México no se dan abasto con la recolección, así que buena parte de los RSU terminan en tiraderos clandestinos al aire libre y no llegan a alguna de las tres plantas de tratamiento, siendo la más grande Bordo Poniente.

El riesgo de continuar con una deficiencia en la recolección y tratamiento de los RSU provoca contaminación, porque la descomposición natural de la FORSU genera metano ( $\text{CH}_4$ ) un gas de efecto invernadero 23 veces más contaminante que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Debido a lo anterior, durante ya algunos años se han realizado estudios en las Universidades Autónoma Metropolitana (UAM), Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), para un método eficiente de aprovechamiento y tratamiento de los RSU en el Distrito Federal, que no es más que darle un valor a la FORSU, esto es "¿cómo convertir la basura en dinero?".

Lo anterior se puede lograr mediante el método químico llamado "digestión anaerobia", el cual mediante una serie de reacciones químicas controladas genera biogás que se compone de 50 a 70% de metano y el resto de  $\text{CO}_2$  y como residuo de la reacción genera un digestato con un alto valor en

---

1 Maestra en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el campo de investigación de energía solar y biomasa. Estos estudios se realizaron en el Instituto Politécnico Nacional del 2009 al 2011 y se elaboró la tesis de grado titulada "Diseño de un Sistema Solar Para Suministrar Energía a un Digestor". Correo electrónico: moni-80-lgc@hotmail.com

nutrientes el cual se puede convertir en composta o agua de riego utilizados para el rescate de suelos para la agricultura o zonas forestales. Así el metano generado con un poder calorífico medio de entre 37,000 kJ/kg hasta 44,000 kJ/kg, puede ser utilizado para la generación de electricidad mediante un motor generador de combustión interna o turbina y para la generación de calor utilizando calderas a gas. Una vez obtenido el biogás del proceso se tiene un digestato seco, el cual mediante otro proceso químico se puede convertir en composta ampliamente utilizada en la agricultura y/o un digestato líquido el cual puede ser utilizado para el mismo proceso como un inóculo o como agua de riego. De esta forma, el proceso de digestión anaerobia es uno de los procesos químicos más eficientes sustentablemente hablando.

En la Ciudad de México no existen plantas o empresas dedicadas al tratamiento de la FORSU mediante digestión anaerobia, sólo existen en las instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), en las cuales con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en algunos casos, se han realizado proyectos para la implementación de la DA utilizando la FORSU pero sólo a nivel piloto o laboratorio. De estos estudios en el CIEMAD del IPN, surgió la patente para la captura del CO<sub>2</sub> (ver Anexo I).

## **Comparación de la aplicación del proceso en la República Popular de China**

En Pekín se generan alrededor de 19,000 ton/día de RSU, de los cuales más del 60% pertenecen a la FORSU. Debido a la gran cantidad de residuos, el gobierno chino tomó la decisión de tener métodos más rápidos y económicos para deshacerse de sus RSU, como son la incineración y rellenos sanitarios. Su método de recolección de RSU es eficiente, sólo que no separan sus residuos desde la fuente, lo cual es un problema para tratar la FORSU utilizando DA pues el no tener una FO limpia significa mayor inversión para el proceso.

Pekín sólo tiene una planta de biogás que utiliza la FORSU conocida como *Planta Dongcun2* subsidiada por el gobierno la cual trata 300 ton/día y genera aproximadamente 334 MW hr/día de electricidad; existe una planta de biogás instalada dentro de la empresa llamada *DeQingYuan2* la cual utiliza residuos biológicos de pollo. En Shanghái está instalada la planta de biogás más grande ubicada en *Putuo2*, la cual trata aproximadamente 600 ton/día y genera 624 MW hr/día de electricidad. En México no existe una planta de biogás y mucho menos utilizando la FORSU, sólo existen digestores en granjas y en zonas rurales los cuales utilizan residuos biológicos de animales o residuos de la agricultura.

Como a nivel laboratorio se han realizado avances en la Ciudad de México, es posible comparar dichos avances a la misma escala. En el aspecto de desarrollo científico, instituciones educativas como son: el Instituto del Medioambiente de la Universidad de Tsinghua en Pekín, la Escuela de Estudios de Medioambiente de la Universidad de Tongji en Shanghai y la Escuela de Ciencias Medioambientales e Ingeniería de la Universidad de Zhejiang Gongshang en Hangzhou, trabajan en la mejora de la composta, verificando el tiempo de madurez y probando procesos de DA para mejorar la composta resultado del digestato después del proceso de metanización dentro del digestor, mientras que en la Ciudad de México se trabaja por mejorar los niveles de producción de metano, pero no se le da la debida importancia también al digestato.

La Ciudad de México tiene lo necesario para instalar una planta de biogás desde 50 hasta 1,000 ton/día, se cuenta con un programa de separación en fuente previo y con una planta de composta. La diferencia en el tamaño son los requerimientos, entre mayor sea la planta mayor espacio e inversión, en los dos casos el proceso es el mismo. Conviene la instalación de una planta para tener un antecedente en el funcionamiento y la experiencia necesaria en el proceso de DA para tratar la FORSU ya que a pesar de los diferentes estudios realizados no se ha logrado implementar ésta ni a pequeña escala.

Un factor importante es el control del proceso, razón por la cual no se han fabricado o planteado su uso en cada hogar de la ciudad. Es importante tener en cuenta que se puede realizar una planta modular, lo que quiere decir, que se pueden instalar digestores en diferentes zonas de la Ciudad de México y que sumadas nos den 1,000 ton/día. Resumiendo, China tienen la ventaja en la implementación de la tecnología de DA utilizando la FORSU mediante la tecnología más avanzada conseguida de Alemania y Francia también está tratando de mejorar las características de su composta al percibir que tiene un potencial más alto en ello que en la generación de metano, mientras que México tiene un mayor potencial en la generación de metano mediante DA, pero no hay experiencia en cuanto a la implementación o funcionamiento de un sistema o planta de DA utilizando la FORSU, de lo que derivarían más ventajas como poder mejorar sistemas y comenzar su producción en pequeña escala.

## **Objetivo general**

Promover la aplicación del proceso de digestión anaerobia en el manejo y aprovechamiento de la FORSU para la producción de biogás con un alto contenido de metano que a su vez sea utilizado como combustible en la generación de energía de calor o eléctrica, por lo que se propone la instalación de una planta de biogás de 1,000 toneladas al día de la fracción orgánica, la cual puede ser modular y estar dentro de la planta de composta del Bordo Poniente al oriente de la Ciudad México.

## Objetivos particulares

Para lograr el objetivo general se parte de los siguientes objetivos particulares:

- Asegurar que la FORSU sea debidamente separada y llegue al lugar de tratamiento libre de plásticos, vidrios o metales, para facilitar el proceso de DA y evitar posibles problemas en otros elementos del sistema, (ver anexo I, Plan de Manejo de los Residuos Sólidos).
- Definir la zona o zonas con el área necesaria para tratar 1,000 ton/día de la FORSU y el uso que se le dará al biogás generado y al digestato (ver anexo 2, anexo 4).
- Asegurar la disposición de la inversión necesaria para que el proceso sea completamente autónomo y circular, esto quiere decir, que el proceso genere energía para los seres humanos y a su vez energía para seguir manteniendo el proceso, aprovechando toda la energía consumida por el proceso (ver anexo I ref. figura AI-1).

## Metodología

La metodología a seguir para la construcción e instalación de una planta de biogás requiere:

1. Tener la cantidad de RSU generados y de la FORSU en la Ciudad de México.
2. Contar con un estudio de las características físico-químicas de la FORSU y la cantidad a procesar.
3. Definir la utilización del digestato líquido y sólido.
4. Definir el precio al cual se vendería el digestato y apegarse a la regulación existente de la generación de composta.
5. Tomar en cuenta el precio de la venta de la electricidad.
6. Tomar en cuenta los costos de los servicios de la infraestructura de la planta, como son: suministro de agua, electricidad, gas natural, diésel, uso de suelo y el promedio del costo laboral.
7. Revisar las propuestas realizadas y tomar en cuenta que se pueden modificar a conveniencia de los involucrados dependiendo de los costos de diseño e instalación y mejorar el proceso.

## Resultados esperados

**Ecológico:** en un corto plazo se observará una disminución importante en las emisiones a la atmósfera, aproximadamente 960,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

Se tendrá un control de malos olores en el ambiente y se evitarán enfermedades por la contaminación del ambiente y suelos. En total se podrán tratar hasta 3,500 ton/día contando las toneladas procesadas en la planta de composta.

**Económico:** al tratar 1,000 ton/día de la FORSU se generarán más de 47, 000,000 de m<sup>3</sup> de biogás al año y 70, 000,000 kWhr aproximadamente de electricidad anualmente. Si la tarifa actual para uso doméstico básico de CFE es de \$0.759 a \$2.5 pesos por kWhr se tendrían más de 85 millones de pesos al comercializar la electricidad producida. También se puede utilizar como gas líquido para procesos de generación de calor como combustible ya que se estaría generando aproximadamente 11, 000,000 kg/año de combustible. Actualmente el costo del gas natural oscila entre los \$1.35 a los \$2.1 pesos por kg de gas natural, esto para el servicio residencial, por lo tanto se tendría una ganancia aproximada a 22 millones de pesos al año. Asimismo del proceso se puede obtener composta y líquido rico en nutrientes los cuales pueden ser utilizados o comercializados como abono y restaurador de suelo sin componentes químicos.

**Científico – Tecnológico:** la implementación de la tecnología será un paso importante para el desarrollo tecnológico del país del cual surgirán más avances y mejoras en el uso de energías limpias.

La estancia en Pekín me permitió recibir el apoyo de empresas dedicadas a la instalación y planeación de plantas de biogás, así como una visión del método que están utilizando de DA actualmente que puede ser escalado para ser utilizado en la Ciudad de México, el método es DA mesofílico (35°C), seco (25 a 35% ST), utilizando un tanque de digester agitado. El conocimiento de cómo ha funcionado este sistema utilizando la FORSU en China, permite realizar las modificaciones para mejoras tecnológicas partiendo de los estudios realizados en las instituciones de investigación en la Ciudad de México. Se lograron los siguientes puntos:

- Una interacción entre las Universidades de Tsinghua, Tongji y Zhejiang Gongshang, por lo que puede existir una colaboración en el desarrollo de la propuesta.
- Un convenio que se desarrollará para una vinculación con los laboratorios interesados en el manejo de residuos sólidos y recuperación de suelos de las mismas y el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional.

## Cronograma

Actividades	Semestres 2014 - 2016				
	1°	2°	3°	4°	5°
Reunir los datos requeridos como son: la cantidad de RSU generados y de la FORSU en la Ciudad de México.					
Contar con un estudio de las características físico-químicas de la FORSU y la cantidad a procesar.					
Definir la utilización del digestato líquido y sólido					
Definir el precio al cual se vendería el digestato líquido o seco y asegurar una calidad en este.					
Tomar en cuenta el precio de la venta de la electricidad.					
Tomar en cuenta los costos de los servicios de la infraestructura de la planta de biogás.					
Revisar las propuestas realizadas y tomar en cuenta que se pueden modificar a conveniencia de los involucrados, y mejorar el proceso.					
Construcción, instalación y puesta en marcha.					

## Presupuesto

El presupuesto para la realización de la "Propuesta para la instalación de una planta de biogás con capacidad inicial de 1,000 toneladas al día de la fracción orgánica de los residuos sólidos (FORSU) de la Ciudad de México" es de aproximadamente \$650 millones de pesos, tomando en cuenta una planta de selección y el costo del terreno inicial. Sin la planta de selección y si el terreno es donado la instalación completa de la planta sería de aproximadamente \$470 millones de pesos (ver anexo II).

El costo de la planta está considerando cada componente requerido para su funcionamiento, tanto el área como los equipos y espacios requeridos para ello. La figura AII-2 del anexo II muestra un diagrama del funcionamiento de la planta y los componentes requeridos.

Hay que tomar en cuenta que de la producción de la planta será la ganancia de la misma, así que los costos a los que se pueda comercializar la energía eléctrica que se genere o el costo de la composta son los que darán la pauta. Para ello se debe saber primero que 1m<sup>3</sup> de metano es igual a aproximadamente 10.36 kW/hr igual a 60 kJ/kg de metano. Otro factor importante es la

forma de obtener subsidios para que sea posible la inversión inicial y que la planta se pague sola y se convierta en ganancias para la sociedad.

Requerimientos para la instalación de la planta de biogás	
Área requerida	7 hectáreas
Inversión total	650 millones de pesos
Cantidad a tratar	1,000 Ton forsu/día
Producción de biogás	125,000 nm <sup>3</sup> al día
Potencia de la planta	27 mw
Producción de energía electricidad (pe)	97,057 mwhr
Producción de digestato (pcom)	600 ton/día
Producción de calor (pc)	103,750 kg/día
Energía eléctrica requerida	1.2 mw
Energía de calor requerida	0.800 mw

Depende del costo del kwhr según tarifas de CFE básica.

Depende del costo al que se pretenda comercializar la composta, aquí fue tomado un costo de 2 pesos por kg de composta.

Depende del servicio, si se vende por kg de biogás se tomó en cuenta el costo del gas natural actual.

## Contactos

### China

Nombre	Institución y puesto	Datos		Tipo
		Correo	Teléfono	
H. Cheng	<i>BiomaxEnvironmentalTechnologyLimited.</i> Departamento de Administración Tel: 84603818- 657 Planta de Biogás Dongcun, Beijing.	chenghj@neeh.hk	-	Real
Liu Xuming	<i>DQY Agriculture Technology CO. Ltd</i> Haidian District, Beijing. Dirección de Tecnología	liuxuming@dqy.com.cn	-	Real
Lu fan	<i>Ph.D., Assoc. Prof.</i> Tongji University, Shanghai, P.R. China. College of Environmental Science and Engineering.	lfan.rhodea@tongji.edu.cn	-	Real
Caicedo Jiménez Luis Miguel	<i>Master in Environmental Science and Engineering University of Science and Technology Beijing. Tsinghua University.</i>	lmcaiced@gmail.com	-	Real
Pin-jing He	<i>Ph.D., Assoc. Prof.</i> Tongji University, Shanghai, P.R. China. College of Environmental Science and Engineering.	solidwaste@tongji.edu.cn	-	Real
Yuyang Long	<i>Ph.D., Assoc. Prof.</i> School of Environmental Science and Engineering Zhejiang Gongshang University and Tsinghua University.	longyy@zjgsu.edu.cn	-	Real

### México

Nombre	Institución y puesto	Datos		Tipo
		Correo	Teléfono	
Dirección General de Servicios Urbanos.	Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del D.F. D.I. Rodrigo Atilano Carsi	ratanoc@df.gob.mx	-	Real
Dirección de Transferencia y Disposición Final.	Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del D.F.	Ing. Rosalío Nava Santillán	-	Real
Gutiérrez M. Eugenia-	Profesor investigador del CIEEMAD, IPN.	ainegue9@gmail.com	-	Real
Nuñez M. Teresa	Profesor investigador del Laboratorio de Ecología Microbiana, UAM Xochimilco	mtnunez@correo.xoc.uam.mx	-	Real
Quinto Diez Pedro	Profesor investigador LABINTHAP, SEPI ESIME Zacatenco	pquintod@ipn.mx, pqd510@yahoo.com.mx	-	Real
Tovar Gálvez Luis Raúl	Profesor investigador del CIEEMAD, IPN.	ltovarg@ipn.mx, luisraulto@gmail.com	-	Real

## Fortalezas y limitaciones

Fortalezas	Limitaciones
<p>*Se evitarán las emisiones a la atmósfera del metano, desapareciendo los tiraderos al aire libre y teniendo una generación controlada de metano.</p> <p>*En la planta se puede separar el CO<sub>2</sub> del metano, lo que nos dará mayor potencial de generación de energía, la transformación en pesos se traducirá después de tomar en cuenta el costo por kWhr que se maneje dentro de la planta y el costo por kJ/kg de gas metano.</p> <p>*Una parte del digestato se puede utilizar de nuevo como inóculo, otra parte de este se puede tratar y comercializar como agua tratada o analizar costos para adquirir equipos deshidratadores para obtener fertilizantes.</p> <p>*La planta puede ser modular, es decir, se pueden colocar la mitad de los digestores y cuando se cuente con el terreno para completar se pueden colocar más digestores.</p> <p>*Se puede tratar una parte de la cantidad inicial en un sitio e ir colocando en otros sitios de la ciudad otros digestores hasta completar las toneladas planeadas.</p> <p>*La planta produce energía eléctrica y calor, las cuales pueden ser comercializadas y parte de ella utilizada para el proceso.</p> <p>*Como resultado del proceso se obtiene un digestato seco (composta) y húmedo (agua tratada), el cual puede ser comercializado para la restauración de suelos y todo lo necesario para la agricultura.</p>	<p>*Si no se tiene una idea clara de que se hará con el digestato, se puede tener mucho desperdicio de energía y a la larga la planta podría no ser sustentable.</p> <p>*No tener la extensión de terreno requerida para la instalación de la planta de biogás.</p> <p>*No tener un plan para la comercialización de los productos, como la energía producida por el biogás y la composta.</p> <p>*No tener la intención de realizar una inversión inicial para la planta completa.</p>

## Temas de interés para China-México

A los investigadores involucrados en el tema del uso de la DA para el tratamiento de la FORSU les interesa saber cómo se ha logrado implementar un programa de separación en fuente de RSU en la Ciudad de México. También existe interés de una empresa por participar en la cotización del proyecto de una planta de biogás.

Durante las visitas a Universidades se identificaron otros temas como conservación y rescate de suelos, eficiencia energética, tratamiento de agua y conservación de lagos.

La aplicación de la digestión anaerobia para tratar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se aplica en China usando tecnología europea, de modo que la Ciudad de México no sólo puede aspirar a propiciar dicha tecnología sino a mejorarla. Existe también un gran interés de la empresa *Biomax Environmental Technology Limited*, con instalaciones en Pekín, de colaborar ampliamente en la cotización de la planta o en la proyección de mejoras para la planta de biogás, proponiendo lugares o modelos económicos que han funcionado no sólo en China sino en otras partes como Francia, España y Alemania para la comercialización del biogás y el digestato.