

Situación actual y escenarios para el desarrollo del **biogás en México** hacia 2024 y 2030

Juan Pablo Gutierrez, Ing. Quím, M. Sc.



Situación actual y escenarios para el desarrollo del **biogás en México** hacia 2024 y 2030

Juan Pablo Gutierrez, Ing. Quím, M. Sc.

Editado por
RED MEXICANA DE BIOENERGIA A.C.
RED TEMÁTICA DE BIOENERGIA DE CONACYT

Coordinado por: Enrique Riegelhaupt, Ing. Agr.

Morelia, noviembre de 2018



La consulta de expertos en biogás es parte del programa de trabajo de la Red Temática de Bioenergía de CONACYT y la REMBIO A.C., y se realizó en Cuernavaca, el 24 /10/ 2018. Este documento se preparó con base en las opiniones e informaciones aportadas en ese evento, además de consultas a distancia con otros expertos. Dos de los diez expertos invitados participaron en la etapa presencial: el Doctor Berndt Weber, Profesor de la Universidad Autónoma de México y la Doctora Liliana Alzate Gaviria, Investigadora Titular del CICY. El Ingeniero Jorge Eduardo López Hernández de ELNSYST / IBTECH se consultó individualmente vía teleconferencia.

La producción y el uso de biogás en México están en un nivel incipiente, donde muchas iniciativas o tentativas de aplicación de 2005 a la fecha no alcanzaron los resultados esperados. Inicialmente se los propuso como una alternativa para generar energía renovable (en especial, electricidad para el sistema interconectado nacional), pero en la práctica se la aplicó mayormente para incinerar metano y generar Certificados de Energía Renovables (CER) para el mercado de bonos de carbono. El uso de biogás en motogeneradores de pequeña potencia no logró los resultados esperados por sus usuarios.

La mayoría de los biodigestores instalados se ubicó en granjas porcinas y establos lecheros: unas 720 unidades de 2005 a 2012, y unas 100 de 2012 a 2018. Actualmente se estima que la mayoría está fuera de servicio. La tecnología de biodigestores de laguna no fue adoptada con éxito: su vida media en granjas es de 2 a 4 años, con raros casos de 8 a 10 años, y son de bajo rendimiento (aprox. 0.3 m³ biogás / m³ de laguna / día). Los biodigestores que tratan la fracción sólida de residuos urbanos son menos de diez, sin casos de éxito o de operación sostenida. El panorama es más alentador en los que tratan lodos residuales de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): en 2017 se identificaron 27 PTAR con biodigestión, donde 9 PTAR ya utilizaban el biogás para calor o electricidad.

En este documento se analizan los potenciales de generación y uso del biogás en 5 sectores:

Pecuario (residuos de granjas porcinas, establos bovinos para leche y carne)

Lodos de Plantas de Tratamientos Aguas Residuales (PTAR)

Industrias de alimentos y bebidas (tequila, harina de maíz)

Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Cultivos dedicados



Tabla de unidades

a	Año
km	kilómetro
m ³	Metro cúbico
Mm ³	Millón de metros cúbicos
ML	Millón de litros
kWh _e	Kilowatt-hora eléctrico
GWh _e	Gigawatt-hora eléctrico = 10 ⁶ kWh _e
TJ	Terajulio = 10 ¹² Julios
\$MX	Pesos mexicanos
mdp	Millón de pesos mexicanos
USD	Dólar estadounidense
tCO _{2eq}	Tonelada de dióxido de carbono equivalente

Al diseñar los escenarios para 2024 y 2030, se concluyó que los sectores con posibilidades de aplicación rentable y productiva de la biodigestión son las grandes empresas pecuarias integradas, plantas de harina de maíz (para metano vehicular), tequileras (para generar vapor) y PTAR (para electricidad de autoconsumo). El tratamiento de RSU o procesamiento de cultivos dedicados aún no están validados. Usar biogás para generar electricidad descentralizada no es rentable; y generar para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es económicamente inviable.

El beneficio principal de la biodigestión es reducir la carga orgánica de los flujos de aguas residuales. Para esto, se recomienda la tecnología de lagunas mejoradas por su mejor relación Beneficio/Costo, aunque se requiere mucha más inversión en su manejo y en la capacitación de los operadores.

En la mayoría de los sectores donde es posible aplicar la biodigestión, la creación de valor por sustitución de combustibles fósiles puede resultar mayor que el costo fiscal asociado. Se estimó un potencial de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitadas totales de 160,000 a 930,000 tCO_{2eq} / año, dependiendo del escenario. Las PTAR y el tratamiento de residuos pecuarios tienen los potenciales de mitigación de GEI más altos, pero la mayor rentabilidad se lograría con su uso como metano vehicular. En el escenario más favorable, la producción de biogás podría multiplicarse por nueve de 2019 a 2030.

Si se establece la exigencia legal de los Certificados de Energía Térmica Limpia (CETEL) —como ya existe con los Certificados de Energía Limpia (CEL) para electricidad— se abriría un enorme mercado posibilitando el ingreso masivo del biogás al mercado energético, grandes reducciones de las emisiones de GEI y acelerando las inversiones en tratamiento de residuos sólidos y líquidos de empresas agroindustriales y agropecuarias. Esta nueva política sería la más eficaz para promover el tratamiento de residuos por biodigestión.

Situación general del biogás en México

En 2008 se promulgó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos para fomentar su producción y extenderla más allá de los biocombustibles tradicionales como la leña y carbón vegetal. Desde entonces, el marco regulatorio de energías renovables ha ido creciendo, con la Ley General de Cambio Climático (LGCC 2012), la Ley de la Industria Eléctrica (2014) y la reciente Ley de Transición Energética (diciembre 2015). En la LGCC se establecieron las metas de generación de electricidad con energía limpia de por lo menos 35% para el año 2024 y de 50% para el año 2050. Hasta el final de 2017 se logró producir el 21% de la electricidad a partir de energías limpias, quedando un aumento pendiente del 14% para lograr la meta el 2024.

A pesar de la existencia de variados programas de fomento a renovables como el PRONASE¹ y el PROINBIOS², la bioenergía y el biogás han quedado rezagados a los últimos lugares en las estadísticas de energías limpias. Según estimaciones propias y de expertos consultados, se producen en México actualmente unos 114 Mm³/a de biogás con una generación eléctrica de 109 GWh_e/a, lo que representa una fracción minúscula de la meta de energía limpia para 2024 de unos 112,000 GWh_e/a.

Potenciales para biogás por sector

A continuación, se presentan los potenciales calculados de biogás para 2024 y 2030 por sector. Cada sector tiene aplicaciones particulares del biogás, que pueden ser para calor de proceso, generación de electricidad o combustible en vehículos a metano.

3.1 Sector pecuario

De 2005 a 2010 se instalaron unos 720 biodigestores tipo laguna o bolsa para digerir estiércol en granjas porcinas y lecheras, la mayoría en 11 estados de México (SAGARPA-FIRCO 2011). Alrededor de 520 biodigestores fueron construidos bajo el esquema de Mecanismo de Desarrollo Limpio en el marco del Protocolo de Kyoto. Con frecuencia se instalaron motogeneradores para producir electricidad de autoconsumo. Al terminar el comercio de bonos de carbono en 2012 la construcción de nuevos biodigestores bajó tajantemente. Actualmente y con pocas excepciones, la gran mayoría de los biodigestores y motogeneradores en granjas están fuera de servicio.

¹ Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

² PROINBIOS: programa de SAGARPA para fomentar la "Producción de Insumos para Bioenergéticos"



1. Efluentes de biodigestor, con alta carga orgánica
2. Biodigestor de laguna, inactivo
3. Separador de sólidos, colmatado
4. Filtro de biogás, inactivo
5. Caldera de biogás, mal regulada
6. Biodigestor de tanque, inactivo



ESCENARIO BUSINESS AS USUAL (BAU) DEL SECTOR PECUARIO

Los biodigestores de laguna para tratamiento de excretas y aguas residuales de granjas pecuarias son generalmente de baja inversión, corta vida útil (2 a 4 años) y bajo rendimiento, (aprox. 0.3 m³ biogás / m³ de laguna / día). Esta tecnología no se adaptó bien a las condiciones del campo mexicano, y los intentos por mejorarla han tenido poco éxito hasta ahora. Los expertos estiman que el número de biodigestores activos crecerá levemente en los próximos años, principalmente por la necesidad de tratar estiércoles o purines, y evitar malos olores (Tabla 1). No se pronostica una mejora en los rendimientos ni aumento de la vida útil de los biodigestores ni de los motogeneradores.

TABLA 1. Situación actual y tendencias BaU 2024 y 2030

Año	2018	2024	2030
Establos con biodigestor y motogeneradores en operación	160	240	360
Producción de biogás (Mm ³ /a)	42.6	64.0	95.9
Generación eléctrica (GWh _e /a)	16.1	36.3	72.5
Emisiones GEI evitadas ³ (tCO _{2eq} /a)	8,866	19,947	39,895

Fuente: estimación propia, asumido 50% de aumento a cada seis años.

3.1.1 Potenciales

Durante la consulta se identificó como grupo objetivo para el desarrollo de biogás en el sector pecuario a las empresas ganaderas integradas verticalmente (como SuKarne, Grupo Kekén, Grupo Bonprime entre otros). Son grupos consorciales que manejan la producción de forraje, la crianza, engorda, sacrificio de ganado así como el corte, empaque y distribución de carne. Tienen alto nivel organizativo, gran capacidad de inversión, altos consumos de electricidad y flotas de camionetas y camiones propias para el transporte interno y de distribución de carne. El estiércol y los purines producidos en las granjas intensivas podría utilizarse para producir electricidad de autoconsumo en plantas consorciales o biometano para la flota de camionetas a ser transformadas de gasolina a gas metano.

Generación de electricidad de autoconsumo

Para los potenciales de generación de electricidad se recomiendan los biodigestores tipo *laguna mejorada*. Con una inversión unitaria estimada por los expertos de unos 2,000 \$MX/m³ de laguna se puede producir biogás a bajo costo pero con relativamente alta productividad. Estas lagunas cuentan con cribas para separación de sólidos grandes a la entrada, mezclado de líquidos y sólidos por bombeo y tubería robusta y duradera. Se estima que con buen manejo y mantenimiento se puede llegar a una vida útil de 8 años y una productividad de 0.8 m³ biogás / (m³ de laguna / día).

³ Las emisiones de GEI evitadas se refieren en todo este documento a la sustitución directa de combustibles fósiles. Otras emisiones evitadas en el ciclo de vida del biogás no fueron cuantificadas.

Al salir del biodigestor el biogás debe ser lavado para retirar el H₂S (ácido sulfhídrico). Hay varias tecnologías de lavado en el mercado. Una de las más sencillas, funcionales y baratas es el biofiltro.

Después del lavado el biogás se alimenta a los motogeneradores para producir electricidad. Se recomienda dar mantenimiento anual y frecuentes cambios de aceite a los motogeneradores (cada 250 a 350 horas de operación) para aumentar su vida útil a aproximadamente 5 años o 30 mil horas.

ESCENARIO FAVORABLE PARA LOS BIODIGESTORES DE GRANJAS

Se estimó que las empresas integradas verticalmente con potencial para generar electricidad de autoconsumo pueden aprovechar el 8.3% del potencial total de las granjas porcinas y bovinas (leche y carne) para 2024 y el 23.1% para 2030. El potencial total de producción de biogás se calculó en 101 Mm³/a en 2024 y 378 Mm³/a en 2030 (Tabla 2). Para motivar al sector y alcanzar los potenciales expuestos se recomiendan las siguientes medidas fiscales:

- Incentivo fiscal equivalente al 50% para los estudios de factibilidad y el diseño para instalación de biodigestores y plantas eléctricas a biogás
- Incentivo fiscal equivalente al 20% en inversiones para biodigestores tipo *laguna mejorada*, equipo de lavado de biogás y planta eléctrica (incluidos motogeneradores)

TABLA 2. Potenciales para generación de electricidad en el sector pecuario

Año	2024				2030			
	Porcino	Bovino leche	Bovino Carne	Total	Porcino	Bovino leche	Bovino Carne	Total
Fración del potencial nacional	5.3%	2.3%	0.8%	8.3%	13.5%	7.2%	2.4%	23.1%
Producción de biogás (Mm ³ /a)	30	32	39	101	82	109	187	378
Generación eléctrica (GWh _e /a)	56	55	67	179	155	189	323	667
Costo de generación (\$MX/kWh _e)	1.21	1.25	1.25	1.23	1.21	1.25	1.25	1.23
Emisiones GEI evitadas (tCO _{2e} /a)	31,035	30,262	37,015	98,313	85,152	103,853	177,858	366,863
Costo fiscal ⁴ (mdp/a)	16.4	16.7	20.4	53.5	45.1	57.6	98.1	200.8
Ahorro en electricidad ⁵ (mdp/a)	22.1	19.3	23.6	65.1	60.7	66.3	113.5	240.5
Empleos creados	269	286	233	788	983	1,308	1,344	3,635

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

⁴ El costo fiscal se calculó para todos los sectores como la suma de los costos de las medidas fiscales mencionadas en cada sector

⁵ Precio de referencia CFE = 1.60 \$MX/kWh_e

Biometano para flota vehicular

Existen granjas y establos con potencial para generar biometano y utilizarlo como combustible para la flota vehicular de camionetas de reparto de las propias empresas integradas, previa conversión de motores de gasolina a metano. El costo de conversión de los vehículos de gasolina a biometano fue estimado en 35,000 \$MX/vehículo.

Para instalar una planta comercial de purificación de biometano se necesita un flujo mínimo de biogás de 250 m³/h o una producción anual de biogás de 2 Mm³. Para granjas con potencial de producción de alrededor de 2 Mm³/a de biogás (en una granja de cerdos esto equivale a unas 55,000 cabezas) se recomienda instalar *lagunas mejoradas* por su bajo costo, siempre y cuando tengan un buen manejo.

Para establos de mayor tamaño se recomiendan biodigestores tecnificados de hormigón armado que controlan mejor la producción de biogás, automatizan alimentación y flujos de salida y disminuyen el área necesaria para el biodigestor.

La purificación de biogás a biometano se puede realizar por tecnología de absorción en etilenglicol, con aminas, por *pressure swing absorption* o por adsorción con carbón activado. El biometano pasa luego a una estación de compresión y almacén en la estación de distribución.

Se estimó que las empresas integradas verticalmente que tienen el potencial para generar biometano y utilizarlo para su propia flota son tres grandes empresas en 2024 y nueve en 2030. El potencial total de producción de biogás se calculó en 26.5Mm³/a en 2024 y 79.5 Mm³/a en 2030 con una creación de valor muy alta por sustitución de gasolina de 265mdp/a en 2024 y hasta 795mdp/a en 2030 (Tabla 3).

Para motivar al sector y alcanzar los potenciales expuestos se recomiendan las siguientes medidas fiscales:

- Incentivo fiscal equivalente al 50% para estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores, plantas de purificación a biometano y estaciones de distribución a vehículos
- Incentivo fiscal equivalente al 20% en inversiones para biodigestores tecnificados y lagunas mejoradas, equipo de lavado de biogás, equipo de purificación de biometano y estaciones de compresión y distribución a vehículos.
- Incentivo fiscal equivalente al 50% para conversión de flota vehicular de gasolina a biometano

TABLA 3. Potenciales de biometano para vehículos en el sector pecuario

Año	2024				2030			
	Porcino	Bovino leche	Bovino carne	Total	Porcino	Bovino leche	Bovino carne	Total
Número de plantas de biometano	1	1	1	3	3	3	3	9
Producción de biogás (Mm ³ /a)	2.0	2.1	22.4	26.5	6.0	6.4	67.1	79.5
Producción de biometano (Mm ³ /a)	1.2	1.2	12.3	14.7	3.6	3.5	36.9	44.0
Costo de generación (\$MX/ m ³ biometano)	4.21	4.42	3.28	3.97	4.21	4.42	3.28	3.97
Emisiones GEI evitadas (tCO ₂ e/a)	3,421	3,320	35,080	41,822	10,263	9,961	105,241	125,465
Costo fiscal (mdp/a)	2.1	2.2	18.7	23.0	6.4	6.5	56.0	68.9
Ahorro de gasolina (millones de Litros)	1.2	1.2	12.3	14.7	3.6	3.5	37	44.2
Ahorro en gasolina ⁶ (mdp/a)	21.7	21.0	222.2	264.9	65.0	63.1	666.5	794.7
Empleos creados	36	36	90	162	108	108	270	486

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

3.2 Sector de aguas residuales

En México hay unas 2500 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) municipales activas. Actualmente se identifican 27 grandes PTAR con generación de biogás, de las cuales sólo 9 PTAR lo aprovechan para un fin específico (GIZ 2017). Las PTAR tienen un alto consumo de electricidad que puede ser cubierto en hasta 70% generando electricidad de biogás. El ejemplo más exitoso es la planta de Atotonilco en Hidalgo que genera unos 93 GWh/a con biogás de lodos.

⁶ Precio de referencia gasolina = 18 \$MX/L



Recirculación de digestatos por bomba móvil

ESCENARIO BAU PARA BIOGAS DE PTAR

Se estima un ligero crecimiento de la producción y aprovechamiento del biogás hasta 2030 (Tabla 4).

TABLA 4. Situación actual y tendencias BaU 2024 y 2030

Año	2018	2024	2030
PTAR con producción de biogás	27	27	33
Producción de biogás total (Mm ³ /a)	76.2	89.6	131.2
PTAR que aprovechan el biogás	9	9	15
Biogás aprovechado o quemado en antorcha (Mm ³ /a)	58	63	87
PTAR con generación de electricidad	1	6	10
Generación eléctrica (GWh _e /a)	92.5	106.5	134.3
Emisiones GEI evitadas (tCO _{2e} /a)	50,896	58,548	73,853

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

3.2.1 Potenciales y escenarios para biogás de PTAR

Se estima que hay unas 60 PTAR con una capacidad instalada >300L/s de tratamiento de agua que tienen potencial para generar biogás y producir electricidad para autoconsumo. Como las PTAR son propiedad pública, las inversiones y costos de operación se consideran iguales a los costos fiscales necesarios para desarrollar los potenciales. No obstante, es posible utilizar esquemas de financiamiento público-privado para lograr los potenciales aquí expuestos con un menor costo fiscal.

Se plantearon dos escenarios: penetración media con 33 PTAR con generación eléctrica y producción de biogás en 2030; y penetración alta con 60 PTAR para 2030. Los potenciales son de 132 Mm³/a en 2024 y hasta 317 Mm³/a de biogás en 2030 (Tabla 5).

Las medidas fiscales necesarias para alcanzar los potenciales son por lo menos las siguientes:

- Financiar con subsidios al 100% los estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores y plantas eléctricas a biogás en PTAR existentes.
- Apoyar con subsidios al 100% las inversiones para biodigestores, equipo de lavado de biogás y planta eléctrica (incluidos motogeneradores) en PTAR existentes o por implementar.

TABLA 5. Potenciales para generación de electricidad en PTAR

Potencial	Penetración media		Penetración alta	
	2024	2030	2024	2030
Año				
PTAR con producción de biogás	27	33	27	60
Aprovechamiento de biogás (Mm ³ /a)	63	132	170	317
PTAR con generación de electricidad	10	33	27	60
Generación eléctrica (GWh _e /a)	118	246	318	593
Costo de generación (\$MX/kWh _e)	0.87	0.87	1.27	1.09
Costo de generación (USD/MWh _e)	43.50	43.50	63.50	54.50
Emisiones GEI evitadas (tCO _{2e} /a)	64,670	135,071	174,863	326,378
Costo fiscal (mdp/a)	20.8	188.0	367.5	635.2
Ahorro en electricidad ⁷ (mdp/a)	10.8	70.6	13.2	120.1
Empleos creados	54	198	162	360

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

3.3 Sector de alimentos y bebidas

En general se estima un gran potencial para el sector de alimentos y bebidas. Dentro de este sector, los ramos de jugos de fruta, tequila, harina de maíz, lácteos, etc. producen una gran cantidad de residuos molestos y olorosos de alto impacto ambiental que pueden ser tratados *in situ* para producir biogás. Además, estos ramos tienen una capacidad organizativa y de inversión de mediana a alta.

En esta consulta se analizaron a detalle 2 ramos industriales: el tequilero y el de harina de maíz. El potencial total en las industrias de alimentos y bebidas es mayor pero su cálculo está fuera de los alcances de esta consulta.

3.3.1 Ramo tequilero

La producción de tequila en 2017 fue de unos 270 millones de litros (ML) según el Consejo Regulador del Tequila. Se estima que alrededor del 50% del tequila se produjo en grandes empresas (>3ML/año) y 24% en empresas medianas (entre 1 y 3 ML anuales). La industria tequilera tiene altas demandas de energía térmica para el cocimiento de las piñas de agave y la destilación del licor. Hasta hace unos años la demanda de calor se satisfacía solamente con combustóleo o gas licuado. Desde 2012, unas ocho empresas instalaron calderas para quemar el bagazo del agave; y desde la entrada de la red de gas natural se han instalado quemadores de GN en las calderas de bagazo o en las calderas de combustóleo. Se estima que el bagazo puede cubrir hasta el 60% de la demanda calórica de una destilería.

⁷ Precio de referencia CFE = 1.30 \$MX/kWh_e

Por cada litro de tequila embotellado se genera de 10 a 14 litros de vinaza. Se estima que en 2017 se produjeron unos 3,800 ML de vinaza en todo el ramo. Hasta hace pocos años la vinaza se descargaba sin tratamiento en el drenaje más cercano, o se regresaba al campo de agave como agua de riego. Debido a su alta carga orgánica y acidez la vinaza debe ser tratada antes de su descarga o riego.

Hay una tendencia creciente en el ramo para tratar las vinazas con biodigestión anaerobia o compostaje, y utilizar el biogás para la producción de vapor en planta, especialmente por empresas que quieren mejorar su imagen de cuidado de medio ambiente.

ESCENARIO BAU PARA EL RAMO DE TEQUILA

Se estima que la vinaza puede cubrir el 20% de la demanda calórica de una destiladora. Una destiladora que produzca biogás de vinaza y queme su bagazo en calderas puede llegar a una autonomía de calor industrial del 80%, minimizando el uso de combustóleo y/o gas. Dada la tendencia actual se prevé un alcance del potencial total para generación de biogás de vinaza del 21% en 2024 y de 44% en 2030.

TABLA 6. Situación actual y tendencias BaU 2024 y 2030 en el ramo tequilero

Año	2018	2024	2030
Vinaza tratada (ML/a)	490	811	1,670
Producción de biogás (Mm ³ /a)	7.9	13.1	27.0
Energía bruta producida (TJ/a)	154	255	526
Potencial alcanzado	13%	21%	44%
Emissiones GEI evitadas (tCO ₂ e/a)	8,156	20,018	39,711

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

Potenciales y escenarios favorables para el ramo del tequila

Vista la tendencia creciente de producción y aprovechamiento de biogás de vinazas en el ramo tequilero se estima que con relativamente pocos estímulos fiscales (de hasta 8mdp/a) se puede llegar a alcanzar el 83% del potencial total (Tabla 7).

Para motivar al ramo y alcanzar los potenciales, se recomiendan las siguientes medidas fiscales:

- Escenario de penetración media
 - Incentivo fiscal equivalente al 100% a estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores de vinaza y equipo de combustión en calderas.
 - Incentivo fiscal equivalente al 10% en inversiones para biodigestores tecnificados y quemadores de biogás en calderas.
- Escenario de penetración alta
 - Incentivo fiscal equivalente al 100% a estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores de vinaza y equipo de combustión en calderas.

- Incentivo fiscal equivalente al 25% en inversiones para biodigestores tecnificados y quemadores de biogás en calderas para grandes y medianos productores.
- Incentivo fiscal equivalente al 50% en inversiones para biodigestores tecnificados y quemadores de biogás en calderas para pequeños productores.

TABLA 7. Potenciales y escenarios para generación de calor industrial con biogás en el ramo tequilero

Penetración	Penetración media		Penetración alta	
	2024	2030	2024	2030
Año	2024	2030	2024	2030
Vinaza tratada (ML/a)	1,051	2,240	1,523	3,136
Producción de biogás (Mm ³ /a)	17	36	25	51
Energía bruta producida (TJ/a)	331	705	480	988
Potencial alcanzado	28%	59%	40%	83%
Costo de generación del metano en biogás (\$MX/ m ³ CH ₄)	0.37	0.37	0.37	0.37
Costo por unidad de metano generado (USD/m ³ CH ₄)	0.018	0.018	0.018	0.018
Emisiones GEI evitadas (tCO _{2eq} / a)	25,926	53,255	37,595	74,567
Costo fiscal (mdp/a)	1.0	2.2	3.7	8.0
Ahorro en combustibles para calor industrial (mdp/a)	55.1	110.2	79.9	154.4
Empleos creados	45	113	110	260

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

3.3.2 Ramo de harina de maíz

La producción de harina de maíz nixtamalizado en México en 2015 fue de casi 2.5 millones de toneladas en 63 molinos activos (Vargas-Sánchez 2017). Este ramo está dominado por un duplio entre Gruma, la empresa líder y Minsa, la seguidora. Ambas empresas producen más del 90% de la harina de maíz a nivel nacional. El proceso de producción de harina tiene alta demanda de calor, cubierta generalmente con gas natural. Además de las plantas productoras de harina salen camionetas de 3.5t a hacer el reparto a supermercados y tiendas, con recorridos de hasta 400km/día.

Al agua residual del proceso de nixtamalizado se le conoce como "nejayote". Según los expertos consultados, por cada tonelada de maíz procesado se producen unos 3m³ de nejayote. El nejayote contiene sólidos suspendidos y sólidos solubles como almidones y otros hidratos de carbono; y por su alta carga orgánica no debe ser descargado sin tratamiento.

Desde su primera planta de tratamiento de nejayote con digestión anaerobia en Indiana USA el Grupo Gruma ha ido instalando más biodigestores en Yucatán, Nuevo León y Chiapas. Se presume que el biogás producido es quemado directamente en antorchas sin aprovechamiento en planta. No hay una tendencia clara del aprovechamiento energético del biogás en el ramo harinero.

ESCENARIO BAU PARA BIODIGESTIÓN DE NEJAYOTE

TABLA 8. Situación actual y tendencias BaU 2024 y 2030 en el ramo harina de maíz

Año	2018	2024	2030
Nejayote tratado (Mm ³ /a)	0.42	0.84	1.68
Producción de biogás (Mm ³ /a)	5.2	10.4	20.1
Energía bruta no aprovechada (TJ/a)	102	203	407

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

Potenciales y escenarios alternativos

Se estima un alto potencial con excelente rentabilidad para el aprovechamiento energético del biogás de nejayote en dos aplicaciones: i) sustitución de gas natural en planta para calor industrial y ii) sustitución de gasolina con biometano en vehículos repartidores.

Se estima un potencial de hasta 55 Mm³/a de biogás para calor industrial en 2030 con un ahorro en gas natural de 14 mdp/a y de 10,5 Mm³/a para biometano vehicular con un ahorro de 113 mdp/a por sustitución de gasolina (Tabla 9).

Para motivar al ramo y alcanzar los potenciales expuestos se recomiendan las siguientes medidas fiscales:

- Potencial de calor industrial
 - Incentivo fiscal equivalente al 50% a estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores de nejayote y equipo de combustión en calderas.
 - Incentivo fiscal equivalente al 20% en inversiones para biodigestores tecnificados y quemadores de biogás en calderas.
- Potencial de biometano para flota vehicular
 - Incentivo fiscal equivalente al 50% a estudios de factibilidad y viabilidad para la instalación de biodigestores, plantas de purificación a biometano y estaciones de distribución a vehículos.
 - Incentivo fiscal equivalente al 20% en inversiones para biodigestores tecnificados, equipo de lavado de biogás, equipo de purificación de biometano y estaciones de compresión y distribución a vehículos.
 - Incentivo fiscal equivalente al 50% para conversión de flota vehicular de gasolina a biometano.

TABLA 9. Potenciales para con biogás en el ramo harina de maíz, Escenario Favorable

Potencial	Calor industrial		Biometano vehicular	
	2024	2030	2024	2030
Año				
Número de molinos con biodigestor	-	-	2	6
Nejayote tratado (Mm ³ /a)	1.7	4.4	0.28	0.84
Producción de biogás (Mm ³ /a)	22	55	3.5	10.5
Energía bruta producida (TJ/a)	427	1068	68	203
Potencial alcanzado	20%	50%	-	-
Costo de generación de metano en biogás (\$MX/ m ³ CH ₄)	0.81	0.81	0.81	0.81
Costo de generación de biometano (\$MX/ m ³)	-	-	4.0	4.0
Emisiones GEI evitadas (tCO _{2e} /a)	28,200	70,501	5,968	17,905
Costo fiscal (mdp/a)	4.7	7.1	8.0	13.7
Ahorro en combustibles (mdp/a)	41.5	103.8	37.8	113.4
Empleos creados	227	567	36	108

Fuente: estimaciones propias con base en opinión de los expertos

3.4 Otros sectores

A continuación, se presentan otros sectores relevantes para la producción de biogás en México. Para éstos, no se calcularon escenarios potenciales debido a la dificultad para estimar su situación actual y desarrollo (residuos urbanos y cultivos dedicados) o debido a barreras de mercado que imposibilitan el acceso al sector eléctrico mayorista.

3.4.1 Sector de residuos sólidos urbanos

La producción de biogás de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) tiene un potencial teórico muy alto. Sin embargo, en la práctica en México se presentan grandes dificultades desde la recolección, clasificación y pretratamiento de la basura orgánica hasta el proceso de digestión y uso del biogás.

Otra desventaja de la biodigestión de FORSU es que sólo disminuye el volumen total de los residuos de 20% a 30%, ya que principalmente los residuos no digeribles representan la mayor parte del volumen residual.

En el contexto internacional otras tecnologías como la combustión o gasificación de los RSU mixtos con producción de vapor y electricidad han ganado terreno y son los procesos más utilizados para el manejo de residuos y generación de energía. En México actualmente sólo existe una planta de gran porte en Atlacomulco (Estado de México) con capacidad instalada para 30 t/día de residuos. Hasta la fecha esta planta no ha podido operar a plena capacidad debido a diversos problemas técnicos y no se prevé una mejora significativa que muestre un claro caso de éxito para ser transferido a otras ciudades del país.

3.4.2 Cultivos dedicados para biogás

Existe la posibilidad de dedicar cultivos específicamente a la producción de biogás. En Alemania por ejemplo, una iniciativa gubernamental ha subsidiado desde 2004 la producción de biogás de cultivos como silaje de maíz combinado con estiércol líquido. Hasta la fecha se han construido alrededor de 9,000 biodigestores bajo este concepto.

En la realidad mexicana utilizar maíz para biogás sería difícilmente aceptado por la sociedad y debido al bajo nivel de seguridad alimentaria actual no se prevé ninguna tendencia positiva para utilizar otros cultivos alimenticios en la producción de biogás.

En algunas publicaciones comerciales y de difusión se ha dado a conocer la producción de biogás de nopal como caso de éxito. Sin embargo, hasta la fecha no se conocen estudios rigurosos acerca del rendimiento de nopal por hectárea, de su costo, ni de la productividad de biogás obtenido en la biodigestión de nopales.

3.4.3 Producción de electricidad para el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) llevó a cabo desde 2015 tres subastas para compra de energía eléctrica de fuentes renovables a largo plazo, con la finalidad de asignar contratos de cobertura eléctrica (PPA, por sus siglas en inglés) para la compraventa de potencia, electricidad y Certificados de Energías Limpias (CEL).

Actualmente las subastas son el único acceso al mercado mayorista de electricidad para energías limpias en México. Desde 2018 los CEL son obligatorios para los productores y los grandes consumidores de electricidad y se pueden adquirir ya sea produciendo energía limpia propia o comprando certificados en el mercado mayorista.

La Tabla 10 resume los resultados de las últimas 3 subastas de electricidad. La cuarta subasta se abrió en marzo 2018 y los ganadores se publicarán a finales de año 2018 o inicios de 2019.

TABLA 10. Resumen de resultados de las tres primeras subastas eléctricas del CENACE

Año	2015	2016	2017
Precio promedio (USD/MWh)	47.70	33.40	20.50
Capacidad a instalarse (MW)	2085	2871	2563
Inversión comprometida (mdd)	2600	4000	2400
Centrales comprometidas	16	36	15
Participación de fotovoltaica (%)	53	54	55
Participación de eólica (%)	47	43	44

Como se muestra en la tabla 10, las subastas y el mercado mayorista de CEL están dominados por las energías fotovoltaica y eólica. Proyectos en base a bioenergía no han ganado en las primeras tres subastas y tampoco están considerados en la cuarta subasta en 2018.

Para ser competitiva a corto plazo la electricidad de biogás tiene que ofrecerse a unos 20 USD/MWh o 0.40 \$MX/kWh. En los escenarios potenciales de esta consulta (ver secciones 3.1.1 y 3.2.1) se calcularon costos de producción de electricidad con biogás de 0.87 a 1.27 \$MX/kWh, que

no son competitivos en el MEM. Por ello, no se prevé acceso de la electricidad de biogás al MEM en los próximos 15 años, que es la duración de los contratos ya celebrados por CENACE, CFE y los usuarios o distribuidores privados con los productores de electricidad eólica o fotovoltaica.

3.5 Sector industrial térmico: Certificados de Energía Térmica Limpia (CETEL)

Una posibilidad que no se ha considerado todavía como parte de la Estrategia Nacional de Combate y Adaptación al Cambio Climático es establecer la exigencia legal de obtener Certificados de Energía Térmica Limpia (CETEL), en forma similar a la que ya rige para los CEL. Un mandato legal de este tipo abriría un enorme mercado para los productores de energía térmica limpia, y posibilitaría el ingreso masivo del biogás al mercado de energéticos, con grandes reducciones de las emisiones de GEI y acelerando las inversiones en tratamiento de residuos sólidos y líquidos de empresas agroindustriales y agropecuarias.

Las oportunidades más grandes para dominar el futuro mercado de energía térmica limpia las tendrían la bioenergía (biogás y biocombustibles sólidos), la geotermia y la cogeneración eficiente. La energía solar térmica podría encontrar nichos de mercado de baja temperatura para atender necesidades de agua caliente en empresas, hospitales, escuelas, granjas, etc. De este modo se podría expandir enormemente el éxito de los CELs, ya probado en el caso de las energías eólicas y fotovoltaicas, al resto de las energías renovables, creando valor, empleos y disminuyendo drásticamente las emisiones de GEI en el sector de energía térmica mexicano.

4

Resumen de escenarios para biogás en 2024 y 2030

La Figura 1 presenta la comparación de los escenarios de producción de biogás tipo BaU (tendencias actuales), de mediana penetración y de alta penetración para 2024 y 2030 en México. Dependiendo de los incentivos fiscales se estima que se puede llegar a una producción y aprovechamiento aproximado de biogás de 200 Mm³ a 350 Mm³ en 2024 y de entre 600 Mm³ y 900 Mm³ en el año 2030. Según estos datos es posible casi cuadruplicar la producción de biogás tendencial con un costo fiscal promedio de 460 mdp/a en 2024 y de unos 930 mdp/a en 2030.

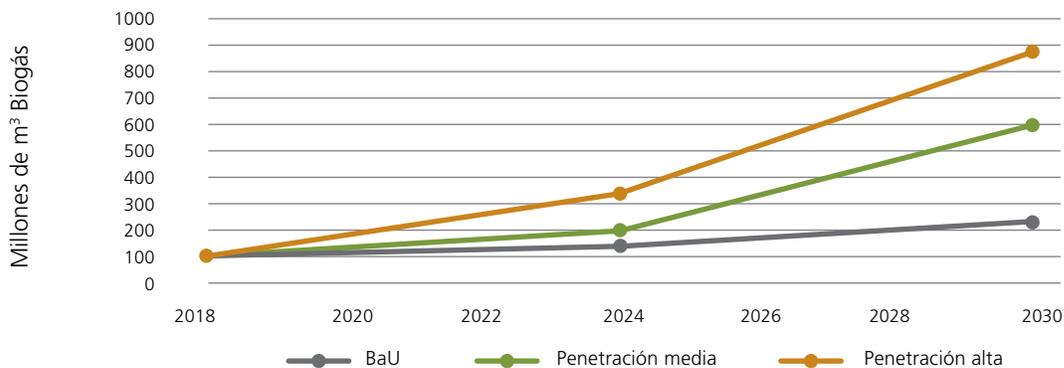


FIGURA 1. Escenarios de producción de biogás en México para 2024 y 2030

En la mayoría de los sectores, la creación de valor estimada por la sustitución de combustibles fósiles resultó mayor que su costo fiscal asociado (Tabla 11).

Las emisiones de GEI evitadas totales se estimaron entre 166.000 tCO_{2eq}/a y 930,000 tCO_{2eq}/a, dependiendo del nivel de penetración. Los sectores de tratamiento de agua residual (PTAR) y tratamiento de residuos pecuarios presentan los potenciales de mitigación de GEI mas altos.

La creación de empleos se estimó de acuerdo al número de plantas de digestión anaerobia instalada en cada sector incluyendo empleos indirectos. Se estima que se pueden crear hasta 5400 empleos directos e indirectos anuales en 2030. El sector pecuario con generación de electricidad presenta la mayor cantidad de empleos potenciales.

El único sector con costos fiscales mayores que beneficios de valor creado es el de tratamiento de aguas residuales debido a que se asumió el 100% de cobertura fiscal en estudios e inversiones. Se recomienda, como alternativa, realizar las inversiones en esquemas público-privados para disminuir los costos fiscales directos en este sector.

Los ramos del sector de alimentos y bebidas (tequila y harina de maíz) mostraron la creación de valor específica (mdp/Mm³ biogás) más alta de todos los potenciales calculados y al mismo tiempo los menores costos fiscales totales (de 1 a 14 mdp/a). Se recomienda dar una alta prioridad al apoyo fiscal en este sector ya que se estima una alta probabilidad de éxito a corto y mediano plazo.

El sector pecuario muestra el mayor potencial de producción de biogás entre los sectores aquí descritos. Si los esfuerzos de promoción y apoyos fiscales se concentran en las empresas con mayor producción de estiércol, equipos logísticos, alta capacidad organizativa y alta capacidad de inversión, especialmente las empresas integradas verticalmente es muy probable que se catalice exitosamente la industria del biogás pecuario.

Se considera de vital importancia la promoción y subsidio exclusivamente a biodigestores de tipo *laguna mejorada* o biodigestor tecnificado.

Se recomienda realizar un programa de certificación y/o monitoreo para la planeación, construcción y operación de *lagunas mejoradas*.

TABLA 11. Resumen de potenciales por sector y aplicación

Sector	Aplicación	Potencial de biogás (Mm ³ /a)		Costo fiscal (mdp/a)		Creación de valor (mdp/a)		Emisiones GEI evitadas (tCO _{2e} /a)		Empleos creados	
		2024	2030	2024	2030	2024	2030	2024	2030	2024	2030
Pecuario	Electricidad	100	378	54	201	65	240	98,313	366,863	788	3,635
	Biometano	26	79	23	69	265	795	41,822	125,465	162	486
Plantas de Aguas residuales	Electricidad penetración media	63	131	21	188	11	71	13,774	84,175	54	198
	Electricidad penetración alta	170	317	367	635	13	120	123,967	275,482	162	360

Tequila	Calor industrial penetración media	17	36	1.0	2.2	55	110	25,926	53,255	45	113
	Calor industrial penetración alta	25	51	4	8	80	154	37,595	74,567	110	260
Harina de maíz	Calor industrial	22	55	5	7	42	104	28,200	70,501	227	567
	Biometano	3	10	8	14	38	113	5,968	17,905	36	108
Escenario penetración media		202	600	80	398	172	525	166,214	574,794	1,113	4,513
Escenario penetración alta		347	890	460	934	502	1527	335,865	930,783	1,485	5,416

La Figura 2 muestra el potencial de producción de biogás en relación con el cociente del valor creado sobre el costo fiscal por sector y por uso del biogás. Se observa que el biogás en PTAR y en el sector pecuario para electricidad tienen los mayores potenciales de producción de biogás, pero tienen la relación más baja de valor creado / costo fiscal. Es decir que para alcanzar estos potenciales se necesitan altas inversiones con periodos de recuperación de inversión largos.

Por otro lado, las aplicaciones de biometano y de calor industrial muestran potenciales absolutos de medios a bajos y una excelente relación de valor/costo, lideradas por el ramo tequilero. Esto quiere decir que en estos sectores se pueden amortizar las inversiones y alcanzar los potenciales rápidamente.

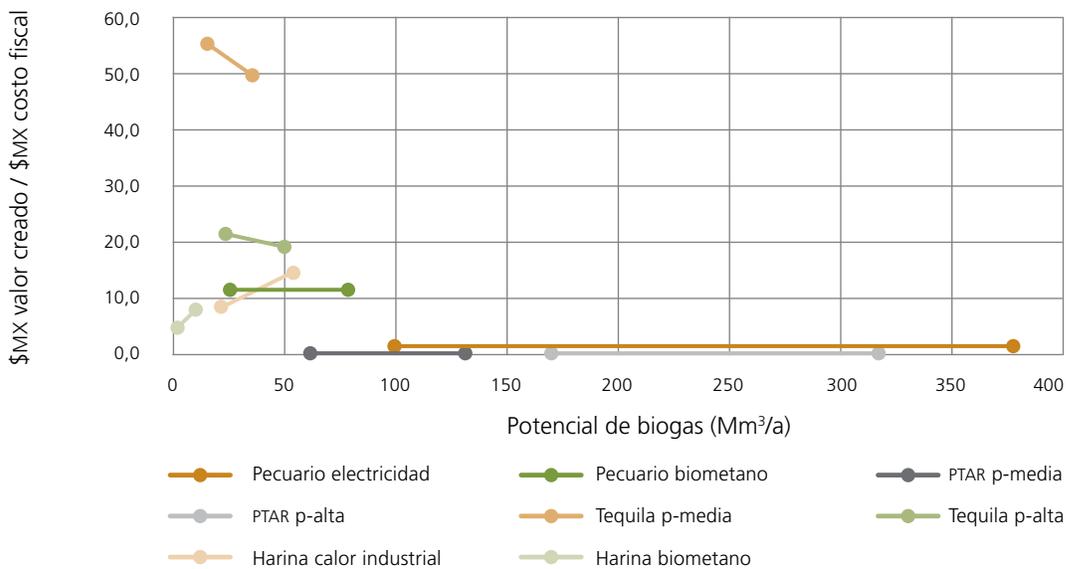


FIGURA 2. Potencial de biogás vs cociente de valor creado y costo fiscal por sector y aplicación

Recientemente se hicieron otras consultas y estudios similares sobre el desarrollo del biogás en México. En un estudio reciente de la UNAM (Perez-Espejo 2018) se realizó un análisis financiero del programa de biodigestores de Yucatán. Se concluyó que el valor presente neto de la inversión hecha por los porcicultores es negativo, con un periodo de recuperación mayor a 30 años, suponiendo que se genera el 100% de la demanda eléctrica para autoconsumo. Además, salvo casos excepcionales, se encontró que los biodigestores no tienen buen manejo y se necesita capacitación de la mano de obra, asesoría y monitoreo por parte de las autoridades competentes.

Por otro lado, en el marco del programa México-Dinamarca sobre Energía y Cambio Climático 2017-2020 se realizó una consulta sobre oportunidades para el biogás en México (Ea Energy Analysis 2018). Como barreras principales se identificaron los bajos incentivos para utilizar residuos orgánicos y recuperar nutrientes (nitrógeno y fósforo), los bajos precios de electricidad en el MEM, un limitado mercado de gas para transporte, un sector industrial de biogás inmaduro y dificultades organizativas entre las instituciones gubernamentales y las empresas. Como oportunidades de bajo costo se identificaron la co-digestión de residuos de alimentos (residuos de mercados, de rastros o queserías) en biodigestores ya instalados en las PTAR, el aprovechamiento de biogás de relleno sanitario y -bajo condiciones favorables y de buen manejo- lagunas biodigestoras en granjas porcinas para electricidad.

En 2017 SENER a través del Instituto Mexicano del Petróleo publicó un mapa de ruta para el biogás hacia 2030 en colaboración del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía CEMIE-Bio, Clúster de Biocombustibles gaseosos (SENER 2017). Sus escenarios para 2030 van desde uno moderado, de 57 Mm³/a de biometano equivalente hasta uno optimista de 800 Mm³/a. Se identificaron retos tecnológicos a superar en diferentes pasos de producción de biogás: colecta de materia prima, pretratamiento, conversión y purificación a biometano. Dentro de los retos en la categoría de conversión se menciona el desarrollo de un sistema de monitoreo nacional de desempeño de plantas de biogás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIZ 2017:** Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México.
- Ea Energy Analysis 2018:** Lessons learned and recommendations for a biogas strategy for Mexico. The Danish Climate and Energy Partnership Program in Mexico 2017 - 2020
- Perez-Espejo 2018:** Estrategias de mitigación. El programa de biodigestores en Yucatán, México. *Península* vol.13 no.2 Mérida jul./dic. 2018
- SAGARPA-FIRCO 2011:** Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México.
- SENER 2017:** Mapa de ruta tecnológica biogás
- Vargas-Sánchez 2017:** El mercado de harina de maíz en México. Una interpretación microeconómica

