



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN ECONOMÍA

*Estudio de economía ambiental sobre “Tecnologías
sustentables para transformar los residuos
agropecuarios, en una diversidad de bioenergéticos
para consumo in situ”*

ENSAYO

PARA OBTENER EL GRADO DE:
Especialista en Economía Ambiental y Ecológica

PRESENTA:
Joshua Martínez Rodríguez

TUTOR:
Dr. Daniel Revollo Fernández

MÉXICO CDMX, MARZO DE 2018



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

Tabla de Contenido

<i>Índice</i>	2
<i>Resumen</i>	3
<i>Introducción</i>	4
<i>Antecedentes</i>	7
<i>Análisis del Contexto</i>	15
<i>Caso de Estudio</i>	27
<i>Análisis Económico - Ambiental</i>	33
<i>Análisis Económico - Financiero</i>	38
<i>Conclusiones</i>	39
<i>Bibliografía</i>	42

Resumen

En el presente trabajo se presenta un análisis de un caso de estudios sobre la implementación de un biodigestor anaerobio en un rancho ubicado en la ruta del Vino y el Queso del Valle de Guadalupe, Baja California. Se realiza el análisis de la viabilidad financiera, su impacto y la medición de la mitigación en términos de toneladas de CO₂e para darle un valor económico a la reducción.

Palabras Clave: Biodigestor, Aprovechamiento de biomasa, tecnología, innovación, residuos agropecuarios, mitigación.

Abstract

In the present work an analysis on the implementation of an anaerobic bio digester in a ranch located in the route of the Wine and Cheese of Valle de Guadalupe, Baja California is presented as a case of study. The analysis of the financial viability, its impact and the measurement of the mitigation in terms of tons of CO₂e is made to give an economic value to the reduction.

Keywords: Adaptation, Innovation, Research, Biodigester, Agricultural Waste, Mitigation, Technology.

Classification Journal of Economical Literature:

O330 Technological Change: Choices and Consequences; Diffusion Processes.

Introducción

La energía es un componente básico de la economía actual. Y aunque se ha promovido en los últimos años utilizar fuentes de energía diferentes al petróleo y el gas, la demanda de estos recursos sigue en aumento. A nivel mundial, las centrales termoeléctricas de carbón, gas natural, petróleo y nucleares son responsables de aproximadamente el 80% de la producción mundial de electricidad, mientras que “las fuentes renovables representan el 13% de las fuentes de energía primarias” (Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014, p. 2).

Según el Escenario de Nuevas Políticas de la Agencia Internacional de Energía, se espera que la demanda energética mundial se incremente en más de un tercio de aquí al 2035 y donde China, la India y el Medio Oriente en particular, serán responsables de cerca del 60% del incremento. En general, el 90% del incremento de la demanda procederá de países ajenos a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. (Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014, p.2)

En concordancia, a nivel mundial, se espera que la demanda de electricidad se incremente aproximadamente en un 70% de aquí al 2035. Empero, más de 1 300 millones de personas en el mundo todavía no disponen de acceso a electricidad, de las cuales más del 95% se hallan ubicadas en el África subsahariana y en países en desarrollo de Asia, y aproximadamente 2.600 millones de personas

dependen del uso tradicional de la biomasa para cocinar. (Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014, p.3)

Este desafío energético se complica si se tiene en cuenta que el uso de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de bióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero (GEI) que origina el cambio climático. De acuerdo con La Prospectiva Medioambiental del IPCC, bajo un escenario de referencia en el que no hay nuevas políticas, se prevé que las emisiones mundiales de bióxido de carbono relacionadas con la energía aumentarán en 52% para el 2030 (IPCC, 2011).

Igualmente, la OCDE (2008) determina que, si no se aplican nuevas políticas, en las próximas décadas existe el riesgo de alterar de forma irreversible la base ambiental que proporcione una prosperidad económica sustentable. Tal que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero pueden llegar a aumentar en un 37% más, y un 52% en 2050. Esto conllevaría a un aumento de la temperatura mundial en un 1.7 a 2.4 grados centígrados en 2050.

Además de los impactos a la temperatura, los impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud se espera que aumenten a nivel mundial, “cuadruplicándose el número de muertes prematuras relacionadas con el ozono troposférico y aumentando en más del doble las relacionadas con las partículas en suspensión” (OCDE, 2008, p.5).

Una de las soluciones propuestas más importantes para poder mitigar las emisiones de GEI es el fomento de las tecnologías de energía renovable. Según el IPCC (2011), las energías renovables pueden mejorar el acceso a unos servicios energéticos modernos. “En 2008, 1.400 millones de personas en todo el mundo carecían de electricidad, un 85% de ellas en zonas rurales, y el número de personas que dependían de los usos tradicionales de la biomasa para cocinar se estima en 2.700 millones”. (IPCC, 2011, p. 41).

De igual forma, la implantación de las energías renovables puede también atenuar los problemas de seguridad energética vinculados a la disponibilidad y distribución de los recursos, y a la variabilidad y fiabilidad del suministro de energía. Esto, al diversificar el portafolio de fuentes de energía de las cuales pueden disponer las personas. Lo cual, puede ayudar a disminuir la vulnerabilidad que las economías tienen a los cambios en los precios del petróleo y a disminuir las desigualdades sociales en cuando al suministro energético.

El objeto de este trabajo es realizar un análisis sobre los impactos económico-ambientales que la implementación de un biodigestor podría tener en la Ruta del Vino y el Queso de Ensenada, Baja California. Tomando como caso de estudio un Rancho de la Ruta llamado “Rancho Cortés”, donde se pretende instalar un prototipo funcional para probar la efectividad y eficiencia de la tecnología.

Antecedentes

Como primer aspecto se consideró el contexto de la bioenergía en México, para lo cual se consultó el Balance Nacional de Energía (2016) y el Inventario Nacional de Energías Renovables.

De acuerdo con lo visto en estos informes, lo primero que se puede observar es que los hidrocarburos aportaron el 86.8% a la producción de energía primaria en 2016, 7.1% menor respecto a lo observado en 2015. Esta reducción puede considerarse el principal elemento que define el comportamiento de la producción de energía a nivel nacional, en los últimos años.

De acuerdo con El Balance Nacional de Energía (2016), durante el año 2016 la producción de energía primaria disminuyó 6.6% respecto al año 2015 y se totalizó en un consumo de 7,714.23 PJ. Por lo cual, podemos deducir la reforma energética ha tenido un claro impacto en la producción primaria mexicana.

Mientras que la producción de fuentes no fósiles de energía primaria aumentó su participación, pasando de 9.3% a 9.9% de 2015 a 2016. Lo cual significa un aumento de 0.6% de un año a otro, un avance mínimo en términos de los objetivos de diversificación de la matriz energética.

Asimismo, en 2016, se importaron 3,994.25 PJ, 37.5% más que en 2015; principalmente de gasolinas, naftas y gas seco. Con esta cifra

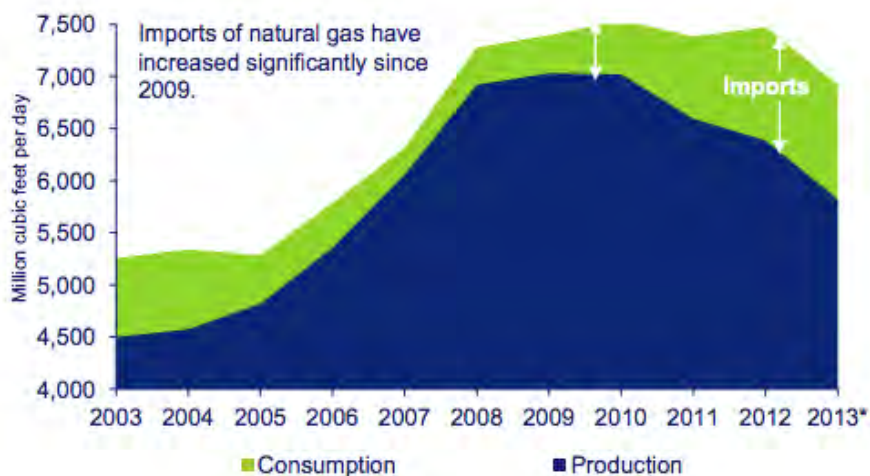
podemos comenzar a observar que se está comenzando a crear una dependencia clara a la importación de fuentes de energía, lo cual podría tener severas consecuencias para el país.

El Balance Nacional de Energía (2016), también, menciona que la oferta interna bruta por tipo de energético refleja que el gas natural y condensados, seguido del carbón y el coque eran los productos con una mayor oferta (Cuadro 14). Sin embargo, se hace hincapié en que, para poder abastecer las necesidades energéticas internas, se tuvo que recurrir a las importaciones de insumos energéticos, principalmente de gas seco.

En este orden de ideas, el gas seco incrementó sus importaciones 58.8%, representando más de la mitad del déficit de la balanza. Lo que representó 1,854.17 PJ, que cubrieron 20.3% de la oferta interna bruta de energía en 2016. El gas seco proveniente de Estados Unidos representó 89.9% de éstas, mientras que el 10.1% restante, provino de Perú, Nigeria, Australia, Indonesia, Trinidad y Tobago, Argelia y Guinea Ecuatorial.

Incluso, al hablar de gas natural se puede observar que la producción de este recurso ha caído desde 2010. Razón por la cual el nivel de importaciones ha aumentado, al mantenerse el nivel de consumo constante.

Gráfica 1. Consumo y producción de Gas Natural de México
2003 - 2013

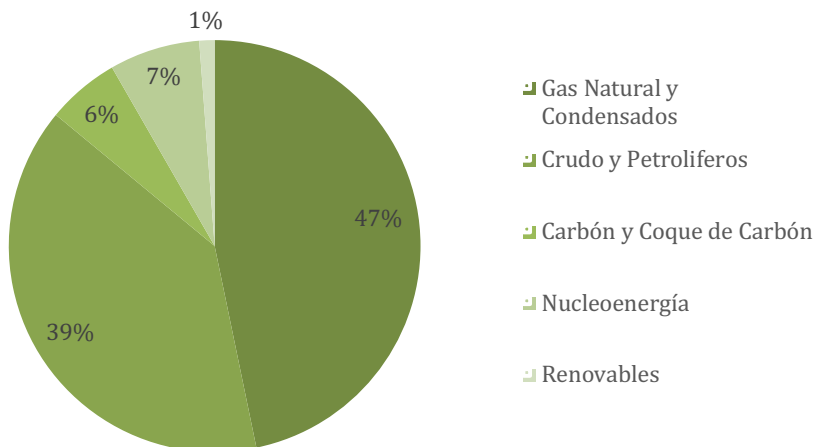


Fuente: Deloitte, 2014.

Lo anterior, resulta en un problema que pudiera traer consecuencias graves debido a la dependencia energética que esto genera, incluso al grado que se ha llegado a hablar de la falta de soberanía energética que el país podría llegar a experimentar (Muñoz et. al, 2012). Este punto resulta crucial para la ejecución del proyecto que en el presente documento se analiza, debido a que es un área de oportunidad que se busca capitalizar con la generación in situ de biogás.

Como podemos observar en el gráfico siguiente, la oferta interna bruta del sector renovable ocupa únicamente el 1.2% de la oferta energética total.

Gráfica 2. Oferta interna bruta por tipo de energético (petajoules)



Fuente: Balance Nacional de Energía, 2016.

Un crecimiento en la participación antes mencionada podría tener un impacto muy grande para subsanar los déficits registrados hasta el momento, lo cuál podría traer un beneficio económico, social y ambiental para el país.

Las energías renovables cerraron su participación en 2016 con 654.05PJ, cifra 0.9% por encima de los valores observados en 2015. Las fuentes renovables que incrementaron su participación en la oferta interna bruta de energía de 2016 fueron: la eólica (18.7%), la solar (10.2%), el bagazo de caña (2.9%) y el biogás (2.4%); mientras que la geoenergía, la hidroenergía, y la leña disminuyeron en 1.4%, 0.6% y 0.5%, respectivamente.

Lo anterior es una clara muestra de lo pequeño que es el sector de la producción del biogás en este momento, un producto que tiene una participación de 2.4% dentro de la oferta de las energías renovables significa que es un producto con mucho potencial. En lo personal, considero que es un sector que hasta el momento no ha sido abordado de la manera correcta y que realmente no cuenta con un modelo escalablemente probado hasta el momento.

Hasta el momento el biogás representa una opción por medio de la realización de biodigestores para el hogar y para pequeñas comunidades, que no ha tenido un impacto real en algún sector que lo ocupe como un insumo primario (Acosta, 2012). Una de las razones por las cuales esto ocurre, es el hecho de que normalmente es utilizado para elevar las temperaturas de ciertas sustancias o bien para calentar (alimentos o bebidas), ya que el hecho de transformar su energía en energía eléctrica implica una mayor inversión en términos de la adquisición de equipos adicionales. Incluso se ha pensado que podría ser utilizado como combustible para automotores al ser licuado, o con una adaptación al motor (Ávila, 2009). Sin embargo, se ha encontrado que el desarrollo tecnológico de un proyecto así implicaría baja viabilidad y un alto costo.

El sector que en este proyecto se trata de impactar, es el sector agropecuario, el cuál se considera que cuenta con la biomasa apropiada para la generación de biogás. Adicionalmente, porque este sector representa el 12% de las emisiones de Gases de Efecto

Invernadero (GEI) del país (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

Cabe resaltar que tan solo este sector emite 80 mil Gg de CO₂ equivalente. De estos, 51 mil son emitidas por fermentación entérica; 14 mil por manejo de estiércol y 13 mil por suelos agrícola (Secretaría de Medio Ambiente, 2015). Adicionalmente, este sector contribuyó en un 68.1% a las emisiones de CH₄, y a la emisión del 31.5% de N₂O. Lo que indica su relevancia en términos ambientales.

Por otro lado, el consumo de energía en el sector agropecuario fue de 180.26 PJ, lo cual representa un aumento de 0.6% en 2016 respecto al año anterior (Cuadro 14). Sin embargo, a pesar de que su consumo de energía vaya en aumento, de los combustibles que se utilizan en este sector, el más importante es el diésel, que representó 74.5% del total de energía consumida.

Cuadro 1. Consumo energético en el sector agropecuario

	2015	2016	Variación Porcentual (%) 2016/2015	Estructura Porcentual (%) 2016
Agropecuario	179.09	180.26	0.65	100
Total Petrolíferos	142.85	139.45	-2.38	77.36
Gas Licuado	6.01	5.12	-14.82	2.84
Querosenos	0.00	0.02	413.2	0.01
<i>Diésel</i>	<i>136.84</i>	<i>134.31</i>	<i>-1.85</i>	<i>74.51</i>
<i>Electricidad</i>	<i>36.24</i>	<i>40.81</i>	<i>12.59</i>	<i>22.64</i>

Fuente: Balance Nacional de Energía, 2016.

La tabla anterior, así como la tabla siguiente nos muestran la importancia que tiene el diésel para la industria agropecuaria, lo cual nos podría hacer pensar que el proyecto debería enfocarse en biodiésel, debido a que el biogás podría no tener un impacto tan considerable. Sin embargo, al realizar un trabajo de campo para conocer las condiciones de vida de los rancheros miembros de la Ruta del Vino y el Queso en Ensenada, Baja California, nos dimos cuenta de que el diésel no lo utilizan únicamente para transporte.

Existe una gran variedad de Ranchos que no cuentan con luz eléctrica por lo cual adquieren plantas generadoras que funcionan con diésel, o bien con un calentador que funciona con diésel. Realmente el diésel utilizado para transporte no representa un porcentaje tan alto en términos de consumo energético total, según las entrevistas realizadas.

Por lo cuál el prototipo ha generarse estará centrado a poder utilizar el biogás para diferentes procesos como: enfriamiento, generación de electricidad, o bien, elevar temperaturas.

Lo anterior, creemos que podría tener un impacto positivo en la disminución del uso de combustibles fósiles para la actividad agroindustrial.

Cuadro 2. Consumo de energía por el sector agropecuario 2006-2016

Análisis del Contexto

Como se ha mencionado, se tomará como base de análisis la creación de un biodigestor para la producción de biogás. Para lo cual se requiere conocer el potencial de biomasa en México, al ser este el insumo principal; y el funcionamiento de la oferta de los mercados de energías renovables.

“Se denomina energía renovable a todo tipo de energía procedente de fuentes solares, geofísicas o biológicas que se renuevan mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior al de su utilización” (IPCC, 2011, p.38). Tal que, este tipo de energía se obtiene de los flujos de energía constantes o repetitivos que están presentes en el medio ambiente natural, y abarca recursos tales como la biomasa, la energía solar, el calor geotérmico, la energía hidroeléctrica, la energía mareomotriz y del oleaje, la energía térmica oceánica y la energía eólica. (IPCC, 2011).

Por lo que se entiende la bioenergía como, “la energía renovable derivada de biomasa o de fuentes biológicas, tales como leña, biocombustibles, subproductos agrícolas, carbón, turba o estiércol” (Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014, p.2). Y se considera que ésta se encuentra en una posición dominante, al representar el 77% de las energías renovables.

El INERE dentro de su contenido explica que la formación de biomasa se da a partir de la energía solar, la cual se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis, mediante el cual las plantas que contienen clorofila transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético.

Por medio del aprovechamiento de la biomasa, puede generarse el biogás, el cual es una mezcla conformada principalmente por CH₄ (50%-70%) y CO₂ (25%-40%), que se genera por el proceso biológico de biodigestión anaerobia, que consta de una serie de reacciones bioquímicas en la que residuos orgánicos son degradados o consumidos por un conjunto de microorganismos (REMBIO, 2018).

Esta degradación de la biomasa para el aprovechamiento energético ocurre en un biodigestor. Estos, son depósitos donde se lleva a cabo la biodigestión de biomasa en ausencia de oxígeno. Las materias primas son, normalmente: excrementos de cerdo y de res, residuos de las cosechas, lodos de estaciones depuradoras de agua, entre otros. (REMBIO, 2018).

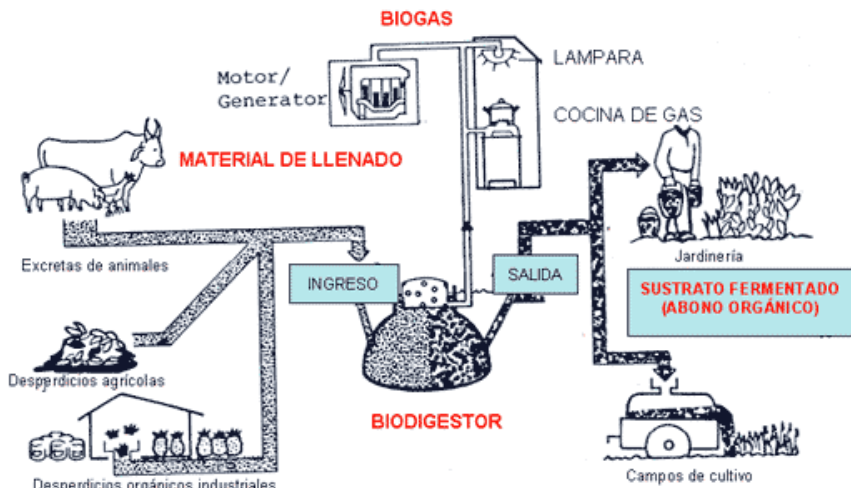
De estos biodigestores se puede obtener biogás. El uso de biogás en cogeneración mitiga emisiones de GEI en comparación con las referencias fósiles. Para la generación eléctrica mitiga 80% de las del carbón y 20% del gas natural; para la generación de calor mitiga 60% con respecto al gas natural y 40% con el petróleo. El costo de generación de electricidad con biogás a partir de residuos

agropecuarios se encuentra en el rango de 252-396 USD/kWh (REMBIO, 2018).

La biodigestión es una alternativa para disminuir o eliminar flujos de materia orgánica proveniente de establos, granjas y residencias humanas hacia los cuerpos de agua, evitando problemas sanitarios y de contaminación. También representa oportunidades de ahorro económico para los productores agropecuarios, ya que se pueden utilizar los efluentes sólidos y líquidos de la digestión como fertilizantes. Si el biogás se utiliza como energético, se generan calor y electricidad evitando el uso de combustibles fósiles y los costos correspondientes. Además, crea empleos, ya que se estima que por cada TWh se generan 560 puestos de trabajo (REMBIO, 2018).

A continuación, se muestra un diagrama simplificado del funcionamiento de un biodigestor, con el objetivo de esclarecer el proceso de aprovechamiento de la biomasa y de clarificar cómo es mediante un motor generador que el biogás puede utilizarse para generar electricidad, o bien, si fuese un compresor, podría utilizarse para enfriar si fuera necesario.

Figura 1. Funcionamiento del biodigestor



Fuente: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/disenio-biodigestores-t26603.htm>

La biomasa mediante este proceso almacena, a corto plazo, la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

Desde el punto de vista energético, la biomasa se encuentra dividida en dos grupos (INERE, 2016):

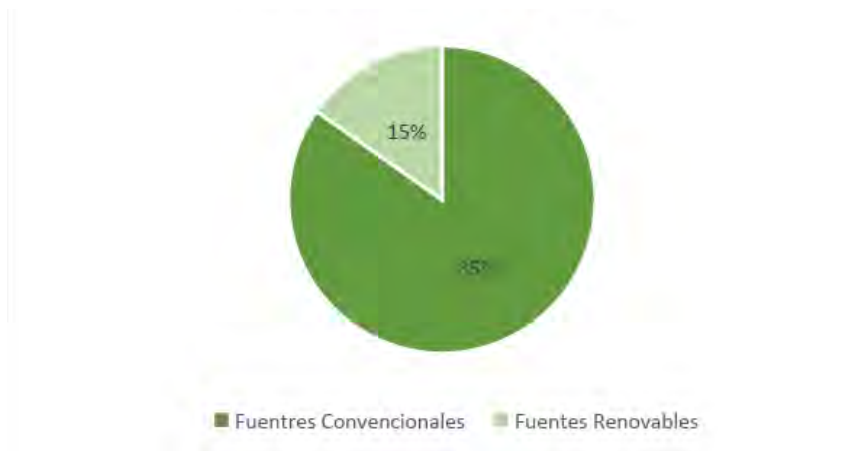
- **Procesos Termoquímicos:** Se refiere a la reacción química mediante la cual se libera energía directamente o se convierte la biomasa en combustible gaseoso o líquido. Comprenden básicamente la combustión directa, gasificación y pirólisis, encontrándose aún en etapa de desarrollo la licuefacción.

- **Procesos Bioquímicos:** Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

En el proyecto planteado se pretende utilizar la digestión anaeróbica, la cual mediante la fermentación anaeróbica de residuos animales de baja relación carbono/hidrógeno dentro de un digestor da origen a la producción de biogás.

Por otro lado, cuando se analiza el potencial del mercado de biomasa en México, mediante la consulta del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE, 2016), se encuentra el reporte de la generación eléctrica bruta total, correspondiente al año móvil del 1 de julio de 2014 al 30 de junio de 2015; año en que se generaron 266,659.65Gwh/a. Éste, se divide en un 84.74% proveniente de fuentes convencionales, y un 15.25% proveniente de fuentes renovables.

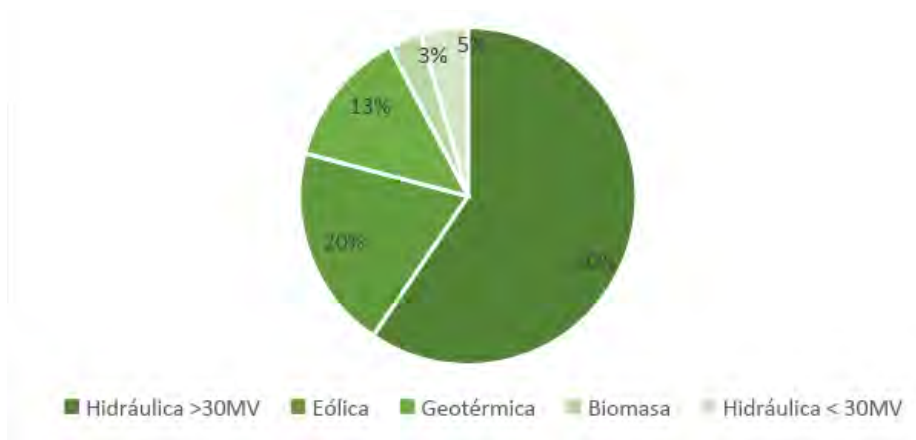
Gráfica 3. Generación Eléctrica Bruta



Fuente: Balance Nacional de Energía, 2016.

Por otro lado, el INERE reporta que en total se generaron 46,727 GWH/a. correspondiente a Energía Eléctrica Renovable, la cual equivalió, en el año 2016. Al realizar el análisis por energía renovable, se puede concluir que la fuente con la participación más importante es la hidráulica (>30MW, con una participación en la generación de 59.52%). Seguida de la eólica, con una participación de 19.57%. Y posteriormente, la geotérmica, con una participación de 13.21%, como se muestra en la gráfica a continuación.

Gráfica 4. Generación eléctrica renovable



Fuente: Balance Nacional de Energía, 2016.

Lo anterior, muestra claramente que la biomasa, realmente no está teniendo una participación significativa en la generación de energía, al menos, en el sector eléctrico. Ya que su participación se limita únicamente a un 3.17% del total de la generación nacional de energía eléctrica renovable.

Al analizar con más detenimiento los números anteriores se puede determinar que actualmente la biomasa, realmente no representa una fuente energética representativa en el ámbito de generación de energía por fuentes renovables.

El mismo INERE establece el aprovechamiento actual de las energías renovables. Y al hacer el análisis de la tabla que se presenta a continuación, es evidente que en el año 2015 en México la energía más importante era la energía hidráulica, seguida de la eólica. Sin

embargo, la gran diferencia entre una y otra, es que la energía hidráulica es aprovechada mayormente por la Comisión Federal de Electricidad, mientras que la eólica está más al alcance de los privados y de la sociedad.

Lo mismo ocurre con la biomasa, en su mayoría los proyectos de aprovechamiento hasta el año 2015 son aprovechados por privados, más que por la CFE; por lo cual, podemos concluir que la tecnología a generar debe estructurarse con la finalidad de que se encuentre al alcance de la operación y adquisición de privados y particulares; ya que son estos quienes se encuentran interesados y operando esta tecnología actualmente.

Cuadro 3. Generación eléctrica actual por Energías renovables (GWh/a) a junio 2015

ENERGIAS	CFE	PRIVADOS	TOTAL EN MÉXICO
Geotérmica	6 078	95	6 173
Hidráulica > 30 MW	27 553	257	27 810
Hidráulica ≤ 30 MW	1 484	635	2 118
Oceánica	No Genera	No Genera	No Genera
Eólica	180	8 966	9 145
Solar	13	107	119
Biomasa	No Genera	1 481	1 481

Fuente: Elaboración propia con datos de INERE, 2016.

Lo anterior, igualmente brinda un panorama del mercado actual de producción. Como fue mencionado anteriormente, la generación de energía eléctrica por medio de la biomasa en México es un tipo de generación que actualmente no es representativa. En mi opinión, el mercado se encuentra en crecimiento actualmente, impulsado principalmente por los proyectos que buscan aprovechar los residuos tanto sólidos urbanos, como agrícolas.

Uno de los aspectos considerados cruciales a conocer, era la potencialidad de producción y el tamaño del mercado con la finalidad de la participación que se buscaría tener y si es que en México se contaba con la potencialidad para desarrollar el mercado de generación de energía por medio de la biomasa. Además de conocer si por medio del desarrollo de esta tecnología el evitar costos relacionados con el consumo eléctrico era posible; y si los beneficios por la disminución de CO₂ resultaban representativos.

El INERE establece un inventario potencial de recursos, el cual se presenta en la tabla a continuación. Del cual podemos concluir que, si bien la biomasa no es el recurso con mayor potencial, sí se cuenta con un recurso posible por aprovechar que es 10 veces más grande del que se aprovecha actualmente al comparar los 1,481 GWh/a con los 11,485 GWh/a que se pudieran llegar a generar.

Cuadro 4. Generación eléctrica actual por Energías renovables
(GWh/a) a junio 2015

RECURSOS	PROBADO	PROBABLE	POSIBLE
Geotérmica	2,610	45,207	52,013
Hidráulica	4,920	23,028	44,180
Oceánica	--	1,057	--
Eólica	25,104	--	87,600
Solar	25,052	--	6,500,000
Biomasa	3,326	680	11,485

Fuente: Elaboración propia con datos de INERE, 2016.

Bajo la premisa de que uno de los objetivos es que el mercado migrara a la tecnología que se propondrá y que mecánicamente con el gas se producirá energía, podríamos establecer como objetivo la generación de 5,487 GWh/a, lo cual implicaría abarcar el mercado actual y proveer 19.75PJ de los 40.81PJ que la industria consumió en 2016 abarcando únicamente el mercado actual y las reservas probadas.

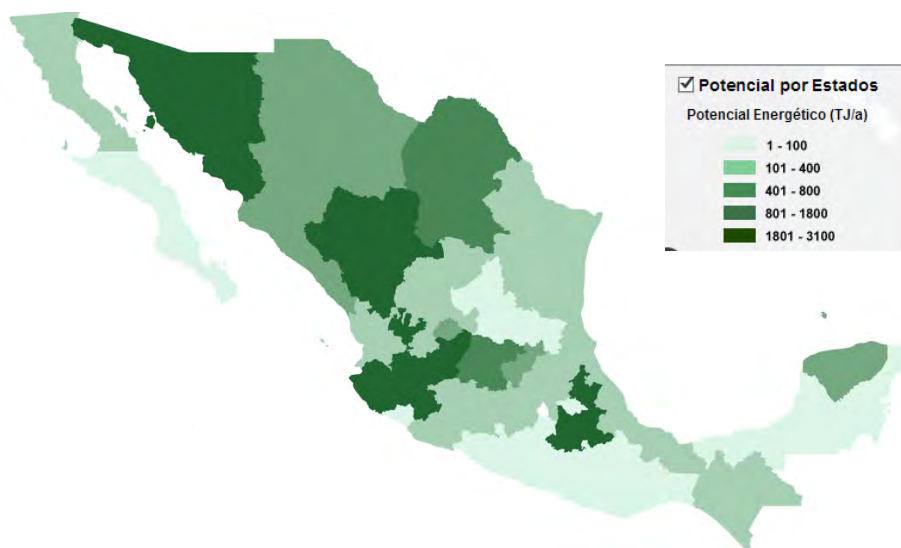
Con el objetivo, en el mediano plazo, de aprovechar las reservas posibles; lo cuál nos permitiría satisfacer una demanda de 41.34PJ de energía eléctrica.

Lo anterior, entendiendo que el prototipo contará con un diseño que permitiría generar energía eléctrica, además de el aprovechamiento del biogás. Sin embargo, no se cuentan con los datos concluyentes de

en qué proporción podría cubrirse la electricidad, y en qué proporción el biogás.

Sin embargo, cuando analizamos el escenario donde todo el biogás producido se utilizará como sustituto del gas licuado que se utiliza actualmente, se podrían cubrir fácilmente los 5.12 PJ que se consumieron en 2016 y aún así poder aportar 36.22 PJ en energía eléctrica. Asumiendo que el prototipo pudiera abarcar la totalidad del mercado.

Mapa 1. Potencial de Biomasa en México para 2016



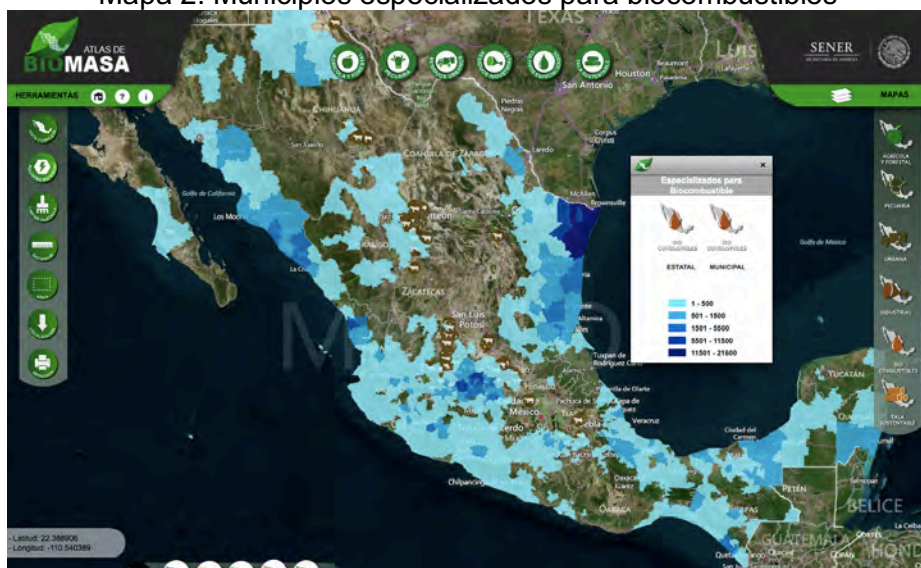
Fuente: Inventario Nacional de Energía, 2016.

El INERE permite visualizar los Estados con mayor potencial energético, en términos de residuos pecuarios, lo cuál establece de

manera bastante clara las zonas del país donde la tecnología pudiera tener un mayor impacto a corto plazo.

Asimismo, el Atlas de Biomasa permite determinar los Estados donde la tecnología es explotada en la actualidad. El sistema muestra la ubicación de los residuos pecuarios y la ubicación de los proyectos actuales de aprovechamiento de biocombustibles.

Mapa 2. Municipios especializados para biocombustibles



Fuente: Inventario Nacional de Energía, 2016.

Al analizar la información se puede concluir que los Estados con residuos pecuarios bovinos y porcinos son los mismos Estados donde se están desarrollando proyectos especializados en biocombustibles por lo cual ya existe una oferta y demanda de la tecnología en Estados específicos.

Tamaulipas resalta debido a la planta de etanol a base de sorgo que anuncio su apertura en 2017, la cual cuenta con la capacidad para producir hasta 350 mil litros diarios de biocombustible y procesar 304 mil toneladas anuales de grano.

Por otro lado, resulta importante resaltar la importancia del Bajío y de la zona de la costa oeste del país, como la zona que podría resultar mayormente beneficiada.

Caso de Estudio

Para la implementación del prototipo funcional del biodigestor fueron visitadas las instalaciones de Rancho Cortés, en Ensenada, Baja California. El Rancho Cortés es un rancho familiar, el cual es administrado por el señor Francisco Cortés. El rancho ofrece principalmente 5 productos:

- Leche
- Queso
- Aceite de Oliva
- Vino
- Servicios Turísticos

Sus ventas anuales para el cierre del año 2016 fueron de \$4,784,910, siendo su principal producto el aceite de olivo.

Se encuentra inmerso en la Ruta del Vino y el Queso de Baja California, la cual se encuentra al norte del estado. En ella se encuentran más de 65 vinícolas, las cuales se destacan por producir algunos de los vinos más premiados en distintos concursos internacionales.

Los Valles que la comprenden son los de Guadalupe, Calafia y San Antonio de las Minas, ellos son el corazón de la Ruta del Vino que se extiende también hacia el norte al Valle de las Palmas y hacia el sur a los Valles de Santo Tomás, San Vicente y Ojos Negros.

La Ruta del Vino ofrece una amplia gama de atractivos y servicios que van desde las más pequeñas vitivinícolas familiares hasta los productores a gran escala; pequeños restaurantes campestres hasta la más fina mesa, así como sitios para acampar, balnearios, centros artesanales, museos comunitarios, un sitio misional, hoteles boutique, boutiques de vino, galerías de arte, cultura indígena y sitios naturales.

La visita al Rancho nos permitió familiarizarnos con la problemática energética de la zona, ocasionada principalmente por la falta de una instalación eléctrica provista por la Comisión Federal de Electricidad. Razón por lo que han sido los mismos dueños de los Ranchos quienes a partir de 2015 financiaron un proyecto para cubrir los gastos de instalación y cableado que les permitiera unirse a la red de suministro de electricidad.

Sin embargo, la electricidad a la cual tienen acceso es intermitente debido a que las personas de las comunidades aledañas roban los cables de la instalación eléctrica para la venta del cobre; lo cual eleva los costos de producción al obligar a los Ranchos a no renunciar a las plantas de diésel para la generación eléctrica. Esta decisión tiene grandes repercusiones ambientales debido al hecho de que los motores de diésel contaminan cuatro veces más que un motor de gasolina, según un reporte del Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, al emitir niveles muy superiores de dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión, dos de los principales contaminantes del aire (Querol et.al, 2006).

La situación anterior afecta directamente al ingreso de los Ranchos, y a la venta de sus productos debido a la reducción en su producción de leche y de queso. Las reducciones son debido a que son los productos que más energía se necesitan para procesar y conservar, por lo cuál sus ingresos han sido sostenidos por la venta de aceite de oliva. No obstante, podemos ver una relación entre la disminución de sus ventas en contraste con su gasto en energía, como se expresa en la tabla siguiente:

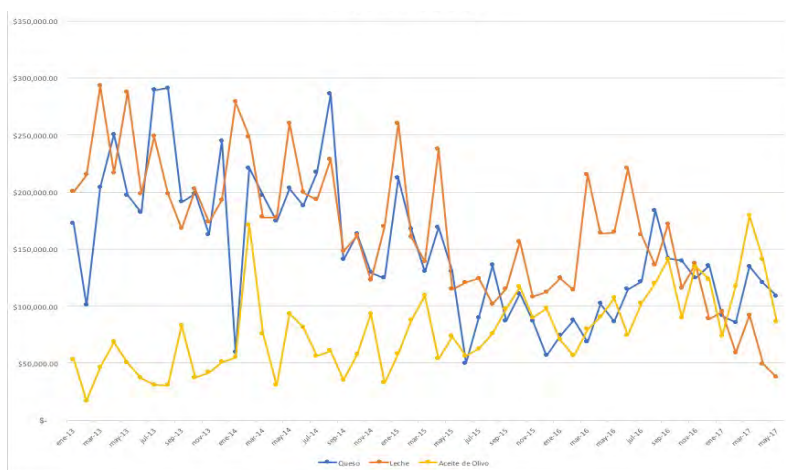
Cuadro 5. Relación entre gasto energético y venta del rancho

Concepto	2013	2014	2015	2016
Gastos Energéticos	\$ 498,972	\$ 535,712	\$ 393,827	\$ 385,552
Ventas Totales	\$ 6,131,650	\$ 6,334,837	\$ 4,646,784	\$ 4,784,911

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo mediante información levantada en campo con entrevistas con el dueño, administrador y trabajadores del rancho los datos de consumo energético pudieron ser obtenidos. Los cuales, al conciliarlos con lo reportado en los estados financieros, así como con las mediciones realizadas por un ingeniero ambiental sobre el consumo energético de la maquinaria y equipo con la que contaba el Rancho; pudieron ser confirmados.

Gráfica 5. Ventas por productos de 2013 a 2017



Fuente: Elaboración propia.

Derivado de ese análisis, el cálculo del consumo de energía del rancho de los años 2013 al 2016 pudo ser realizado, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Cuadro 6. Consumo eléctrico y de diésel

Concepto	2013	2014	2015	2016
Kw/hr Anual	36,599	52,085	41,987	45,909
Litros de Diesel	31,920	26,507	17,444	16,112

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la tarifa promedio que se pagada por utilizar la red privada fue proporcionada por el administrador del Rancho, quien determinó la tarifa interna en \$3.4 kw/h, lo cual concuerda con lo reportado en los Estados Financieros y por los ingenieros ambientales. Con lo anterior, el consumo eléctrico promedio anual del Rancho se determinó en 44,145.08 kw-hr/anuales.

Posteriormente, se realizó un análisis y pruebas con la intención de determinar la potencialidad calórica de 1kg del estiércol. Para posteriormente multiplicarlo por los kilogramos de estiércol que el

Rancho reporta tener diarios, mensuales y anuales. Como se expresa en la tabla a continuación:

Cuadro 7. Potencialidad del estiércol

Fuente	Kw-hr/kg	Kw-hr/Día	kw-hr/mes	kw-hr/anual
Estiércol de Vaca	13.88	129.96	3,898.8	47,435.4

Fuente: Elaboración propia.

Derivado del análisis anterior se puede concluir que el rancho cuenta con el suficiente potencial energético para autosatisfacer su demanda energética. Permitiéndole la implementación del biodigestor tener ahorro en términos de gasto energético la cantidad de \$150,093, considerando únicamente su ahorro en términos de consumo eléctrico. En la tabla a continuación se muestra la producción promedio calculada para el rancho en tres diferentes periodos de tiempo: diaria, mensual y anual.

Cuadro 8. Consumo Promedio del Rancho

Rancho Cortés	Kw-hr/Día	kw-hr/mes	kw-hr/anual
Consumo Energía Eléctrica	121.30	3,639.24	44,145.08

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Económico – Ambiental

Tomando a consideración la información proporcionada, fue realizado un análisis de la reducción en emisiones por aprovechamiento del biodigestor. En primer lugar, fue considerado el hecho de que la implementación del biodigestor en el Rancho Cortés reduce la huella de carbono del rancho derivada del manejo de estiércol. En segundo lugar, al poder ser implementado el biogás como fuente de energía, fue considerada una reducción en las emisiones por el aprovechamiento de éste. Así la estimación de las emisiones con los datos recopilados fue realizada.

De manera que, para el cálculo de las emisiones fue utilizada la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2006). Bajo esta metodología, la implementación de factores de emisión generales de nivel 1 fue utilizada, de acuerdo con la fuente.

No obstante, los factores de emisión implementados en este caso son los presentados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA) y por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012), dado a que sus factores de emisión son presentados por cabeza de ganado.

De forma que para calcular las emisiones por la gestión de los desechos los factores de emisión a la agricultura de Metano (CH₄) y de Óxido nitroso (N₂O) fueron extraídos de la fuente antes mencionada. Mientras que para el consumo energético las emisiones fueron estimadas por el consumo de diésel, utilizando el factor de emisión de consumo energético en la agricultura del CO₂.

Cuadro 9. Factores de emisión de metano y nitrógeno por manejo de estiércol

Animal	Factor de emisión de CH₄ para manejo de excretas [kg/cabeza/año]	Excreción de N kg/cabeza/año
Bovinos Leche	0.694	40
Bovinos Carne	1	70

Fuente: SAGARPA y FAO, 2012.

Cuadro 10. Factores de emisión de óxido nitroso por almacenamiento de estiércol

Sistema de manejo de excretas animales	Factor de emisión kg N₂O-N/kg N
Almacenamiento sólido y parcelas secas	0.02

Fuente: SAGARPA y FAO, 2012.

Cuadro 11. Factores de emisión de dióxido de carbono por consumo de diésel

Combustible/ Energía	FECO2
Diésel [t CO2/PJ]	74100
Electricidad [t CO2/MWh]	0.4999

Fuente: SAGARPA y FAO, 2012.

Entonces, para el cálculo fueron utilizadas las siguientes ecuaciones:

Gestión del estiércol

$$CH_4 = FE_{CH_4} * C \quad (1)$$

Donde CH₄ son el total de emisiones de metano, CHFE_{CH₄} se refiere al factor de emisión de CH₄ por manejo de excretas y N al número de cabezas de ganado, que en este caso se considera todo el ganado como ovinos lecheros.

$$N = FE_N * C \quad (2)$$

Donde N son el total de emisiones de nitrógeno, FE_N se refiere al factor de Excreción de nitrógeno y C como el número de cabezas de ganado.

Por lo que se requiere utilizar el factor de emisión de óxido nitroso con el resultado de esta ecuación.

Luego, el potencial de calentamiento global es implementado para obtener las emisiones en CO₂ equivalente.

Cuadro 12. Potencial de calentamiento global de ls GEI del sector agropecuario

GEI	Potencial
Metano	21
Óxido nítrico	310

Fuente: SAGARPA y FAO, 2012.

Consumo de energía

$$CD = FE_{CD} * PJ \quad (3)$$

Donde CD se refiere al total de emisiones por consumo de diésel, FE_{CD} se refiere a factor de emisión por consumo de diésel y PJ se refiere al total de Petajoules consumidos en el rancho.

$$CE = FE_{CE} * MWh$$

Donde CE se refiere al total de emisiones por consumo eléctrico, FE_{CE} se refiere al factor de emisión por consumo de electricidad y MWh se refiere al total del consumo eléctrico.

De lo anterior, se puede concluir que el total de emisiones generadas por el rancho es de 121 toneladas de CO₂eq al año. De las cuales el 57% corresponden a emisiones por consumo energético y 43% son por manejo estiércol.

Cuadro 13. Emisiones totales

Categoría	Ton de CO₂e anual
Manejo de Estiercol	52.51
Consumo Energético	68.69
Total	121.20

Ahora bien, con el fin de conocer lo que estas emisiones representan en términos económicos, fue tomado como el precio de la tonelada de carbono el “carbon tax” que se estableció para México en 2014. De acuerdo con SEMARNAT, el Congreso decidió un carbon tax de 3.5\$USD/ton.

Al tomar este valor como referencia fue realizado el calculo para llegar a un costo por evitado por las emisiones de \$424.21 USD, el cuál al tomar una tasa de cambio de \$ 19.93 MXN, nos da un costo evitado de **\$8,454.49 MXN** por la implementación del biodigestor en el Rancho Cortés.

Análisis Económico - Financiero

Uno de los objetivos primordiales es generar un producto terminado que sea rentable. Que en su sentido más literal podríamos entender que los beneficios que ofrece sean mayores a los costos que ocasiona.

En términos de precio, se ha establecido una condicionante después de analizar el mercado y la disposición a pagar de los productores ganaderos, así como el mercado de biodigestores. Por lo cual el precio de biodigestor debe establecerse entre los \$500,000 y \$700,000.00 pesos mexicanos y se busca un retorno de inversión de 3 a 5 años con una TIR por arriba del 10% anual.

Para realizar este análisis fueron considerados como flujos para la TIR los ahorros en términos de energía que se tendrían con el uso del biodigestor, es decir, los gastos en los que se dejaría de incurrir por el uso del biodigestor.

Asumiendo la inversión más alta, con un precio de venta de \$700,000.00 la tasa interna de retorno es de 14% cuando el calculo se realiza a 3 años. Mientras que el cálculo arroja una tasa de 19% cuando el cálculo se realiza a 5 años.

Por lo cuál podemos establecer que el proyecto es rentable en términos financieros, y viable mientras el costo se mantenga por debajo del millón de pesos.

Conclusiones

Uno de los principales objetivos cuando se planteo la participación de administradores, economistas, contadores e incluso comunicólogos en el proyecto para la generación de un biodigestor, era el poder crear un modelo de negocios o una campaña de publicidad que hiciera evidente que la necesidad de los biodigestores era la mejor opción para implementar por parte de los dueños de los Ranchos.

Considero que en todos los planteamientos y modelos hechos dentro del campo de conocimiento de la economía ambiental y ecológica se realizan con un objetivo similar, al calcular el costo de las externalidades, con el fin de asignarle un valor monetario al impacto ambiental con el fin de hacer consciente al consumidor y a los tomadores de decisiones del impacto que podrían tener sus acciones o decisiones en términos financieros, que se asume son con los que están más familiarizados. Ya que en todo proyecto se habla en términos de ganancias y perdidas, para tomar una decisión; las tasas y los indicadores financieros tienen esa función y resulta lógico querer ajustar a esos estándares la valoración de recursos ambientales.

Sin embargo, creo que cuando uno hace los cálculos para determinar ese costo social los resultados podrían resultar no tan impactantes como se podría esperar. En ese sentido creo que para un impacto mayor se de, este tipo de proyectos se deben establecer a una mayor escala. Y considero que uno de los aprendizajes profesionales que me llevo de realizar este trabajo es que, al momento de establecer objetivos en los proyectos en términos de retorno de inversión, también se podrían incluir desde un principio objetivos en términos de mitigación, para que la tecnología establecida provea de soluciones que impacten en un sentido financiero, así como ambiental.

El desarrollo tecnológico en México, en el sentido de desarrollo de bioenergías para el cambio de la matriz energética es un cambio paulatino. Donde se necesita de la asociación de diferentes instituciones de diversos campos del conocimiento para hacer frente y plantear un modelo de solución.

Existe un gran interés por parte del mercado agropecuario por la implementación de tecnologías que resulten eficientes, bajas en costo y con interfaces fáciles de operar (que no se necesiten de mano de obra especialmente calificada para su operación). Lamentablemente, lo ambiental es un tema que les preocupa o que les ocupa únicamente en caso de que afecte su producción o tenga un impacto negativo en la calidad de sus productos. Actualmente, en Baja California la escasez de

agua es el tema más urgente, y la falta de electricidad para la producción de bienes y el proveer servicios turísticos es el segundo tema en la agenda (en términos ambientales).

En mi opinión, creo que lo que el siguiente reto es que los profesionales que trabajamos en el ámbito de proyectos desarrollemos herramientas que permitan a los tomadores de decisiones de escalas microeconómicas integrar su retorno a la inversión con su impacto ambiental. Con indicadores como la TIR, o el ROI, pero contemplando algo más que flujos de efectivo y retornos, sino integrando lo ambiental para que sea algo más evidente. El ideal sería que las decisiones se subordinaran al daño que se pudiera ocasionar, que el buen manejo y preservación de los servicios ecosistémicos, así como el impacto social tuviera una relevancia igual o mayor a lo financiero.

Un cambio de paradigma en el planteamiento de los modelos de negocios es necesario y las herramientas que brinda la economía pueden ser una parte de la solución para lograr el cambio que resulta tan evidentemente necesario, pero que no siempre resulta tan fácil el comunicar esa importancia o urgencia, fuera de los términos económicos.

Bibliografía

Ávila, E. (2009). Biogas: Opción de seguridad energética para México. (Tesis). Recuperado del sitio web, <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5826/BIOGAS.pdf?sequence=1>

Deloitte, 2014. *Mexico Energy Reform*. Recuperado del sitio web, [http://deloitte.com/us-cons-mexicoenergyreformpaper2014final-0342014%20\(1\).pdf](http://deloitte.com/us-cons-mexicoenergyreformpaper2014final-0342014%20(1).pdf)

IPCC, 2006. Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol.: Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado del sitio web, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

IPCC, 2011. Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático: Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Recuperado del sitio web, https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf

Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2014. *Agua y Energía: Datos y Estadísticas*. Recuperado del sitio web, <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf>

OECD, 2008. *Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030*. Recuperado del sitio web, <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/40224072.pdf>

Querol, X., Alastuey, A., Moreno, T., Viana, M., Cassanova, J., Pérez, L., Sunyer, J. & Künzli, N. (2006). *Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado*. Recuperado del sitio web, http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/wp-content/uploads/2015/12/4RESUMEN-Calidad_del_aire_urbano_salud_y_trafico_rodado.pdf

SAGARPA y FAO, 2012. *Subíndice de emisiones de gases de efecto invernadero - Metodología de cálculo*. Recuperado del sitio web, http://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/gei/ContenidoGEI.pdf

SEMARNAT, 2014. *Carbon Tax in Mexico*. Recuperado del sitio web, <https://www.thepmr.org/system/files/documents/Carbon%20Tax%20in%20Mexico.pdf>