

Escuadrón

REPORTE FINAL
PARA EL PROGRAMA DE
INVESTIGACIÓN EN CAMBIO
CLIMATICO (PINCC) DEL PROYECTO:

“Producción de etanol en México a partir de la caña de azúcar y su efecto en la emisión de energía”, que forma parte del Proyecto “Biocombustibles en México: una alternativa para la reducción de la dependencia de los hidrocarburos y para la mitigación de los gases efecto invernadero”.

DR. ARON JAZCILEVICH DIAMANT
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA

Septiembre 20, 2012.

**Reporte Final para el Programa de Investigación en
Cambio Climático (PINCC) del proyecto:**

**“Producción de etanol en México a partir de la caña de
azúcar y su efecto en la emisión de energía”, que forma parte
del Proyecto “Biocombustibles en México: una alternativa para
la reducción de la dependencia de los hidrocarburos y para la
mitigación de los gases efecto invernadero”.**

Por: Arón Jazcilevich y Javier Manríquez García

I.-Desarrollo de la investigación

Se realizó con GREET el análisis del ciclo de vida (ACV) del Ingenio Tamazula en el estado de Jalisco. En el reporte anterior el ciclo de vida abarcó desde el abono de tierras, hasta la salida del alcohol de la planta (well to door). En la etapa final se amplió el análisis hasta un escenario hipotético con distribución (well to pump) en la Ciudad de Guadalajara de etanol 6 y 10.

Se invitó a la Dra. Christina Siebe Grabach del Instituto de Geología a colaborar en el proyecto para determinar balance de carbono en suelos ya que se amplían los objetivos del proyecto para analizar sustentabilidad. La Dra. ha decidido enfocar a un estudiante de maestría para realizar un metanálisis con datos publicados al respecto de ingenios mexicanos y realizar experimentos al respecto, por lo que en el futuro obtendremos otra tesis producto del proyecto.

II.- Trabajo de campo

El grupo realizó dos visitas al Ingenio Tamazula. En la 2nda se contó con la participación de la Dra. Siebe, ver Fig.1, y en conjunto con el grupo del Instituto de Ingeniería con la Maestra Inés Navarro. Se analizan suelos y se constató la instalación de generadores de electricidad para co-generar con la CFE 30 MW. Como se muestra en la parte de resultados, esto significa un avance importante para aminorar el gasto de energía no-renovable invertida en la elaboración de azúcar y alcohol.

Muestreo de suelo



Figura 1. Toma de muestras de suelo en los campos de cultivo del Ingenio Tamazula.

Se visitaron las facilidades del Ingenio Tamazula para la producción mediante vermicultura de abono orgánico, ver Fig.2 y de criaderos de variedades, ver Fig.3.

Compostas



Figura 2. Formación de abono orgánico por vermicultura en el Ingenio Tamazula.

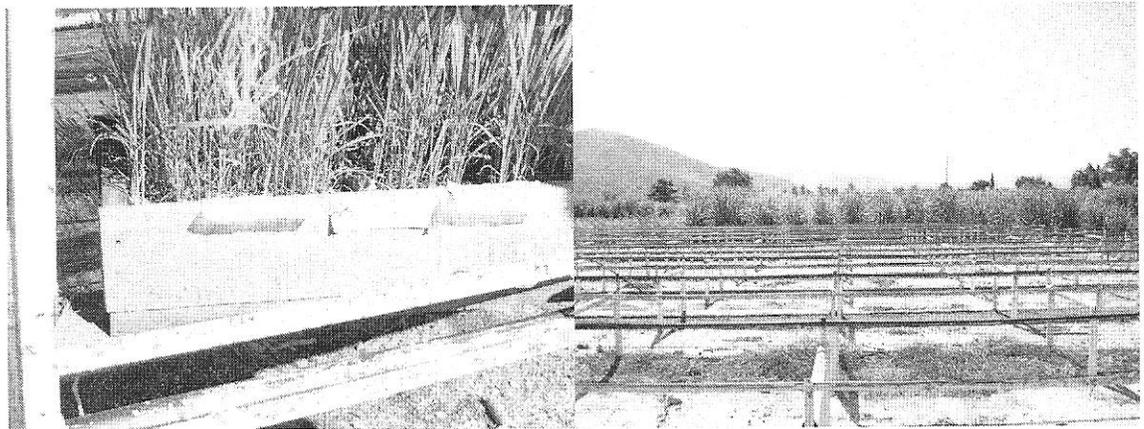


Figura 3. A la izquierda, variedades de plantas de azúcar para mejorar producción y resistencia a plagas. A la derecha, las variedades son probadas y sujetas a pruebas.

III.- Resultados

Se presentan los resultados del análisis de ACV usando GREET, cubriendo todos los aspectos de la producción hasta la distribución (well to pump). Este análisis incluye el caso de utilización de mezclas E6 y E10.

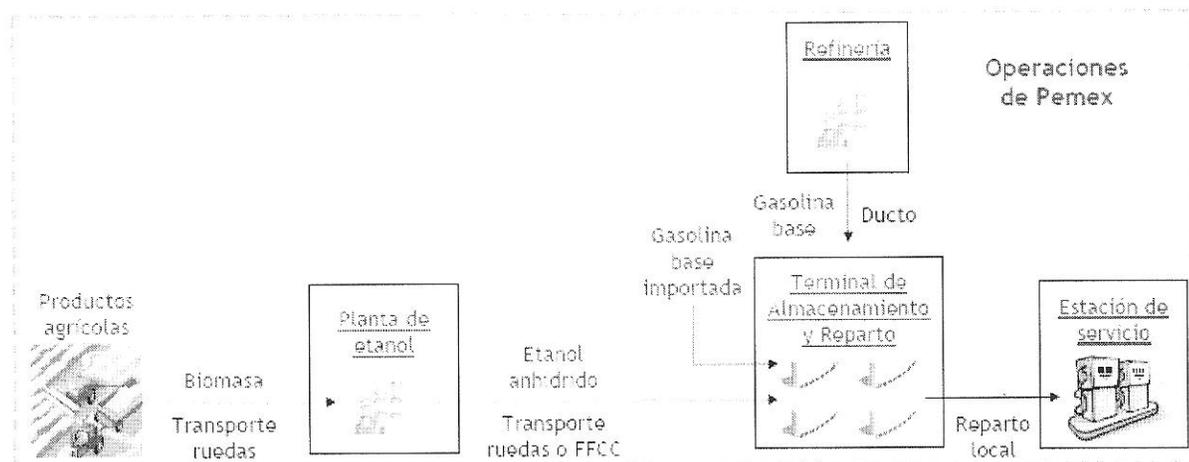


Figura 4. Cadena de Suministro para las mezclas E6 y E10.

Los resultados que se presentan hacen un comparativo entre los escenarios de gasolina convencional (Gasolina_C), a partir de maíz (E.U) y caña de azúcar en Brasil (Brasil) con los escenarios Tamazula*, Tamazula y TamazulaE. También se muestran los resultados de las mezclas de gasolina base con etanol, para obtener las E6 y E10. Este último análisis muestra el balance energético y de emisiones de un escenario de producción de etanol para uso automotor en Guadalajara.

III.1 Balance de Energía

En la figura 5 se ilustra la cantidad de energía que se necesita consumir para producir un GJ de etanol y/o gasolina convencional en el proceso de producción desde la siembra a la bomba de gasolina (well-to-pump). Se observa que el consumo de energía es mayor en el caso de Tamazula* al compararlo con los casos de E.U y Brasil. Esto se debe a la compra de energía eléctrica a CFE, ya que el 75% de la energía eléctrica que se produce en el país proviene de plantas termoeléctricas, en donde se queman hidrocarburos.

Para el caso Tamazula, en donde el ingenio produce su propia energía eléctrica, se observa que existe una disminución de consumo de energía no renovable en el proceso por lo que se aproxima a los casos de EEUU y Brasil. Sin embargo, cuando el ingenio es capaz de producir el 100% de la energía eléctrica que consume y cuenta con la capacidad de exportar energía eléctrica

sigue disminuyendo la energía total que se requiere en el proceso, como es el caso TamazulaE.

En los casos de E6 y E10 se observa que se incrementa el consumo de energía si es comparado con el caso Gasolina_C. Sin embargo la figura 6 muestra el comparativo de energía renovable y no renovable que es utilizada en cada caso. Se observa que los casos en donde se fabrica etanol procedente de caña de azúcar, tienen un mejor aprovechamiento de la energía renovable. Esto se debe a que la biomasa (bagazo), es utilizada para generar energía eléctrica en las plantas productoras, lo cual implica que se deja de quemar hidrocarburos de las plantas de CFE.

En la figura 6 también se observa que al utilizar mezclas de etanol con gasolina convencional (E6, E10), se incrementa el consumo de energía renovable a lo largo del ciclo de vida de dichas mezclas, desde que se obtiene la materia prima hasta que el bien se encuentra en una estación de servicio (well-to-pump).

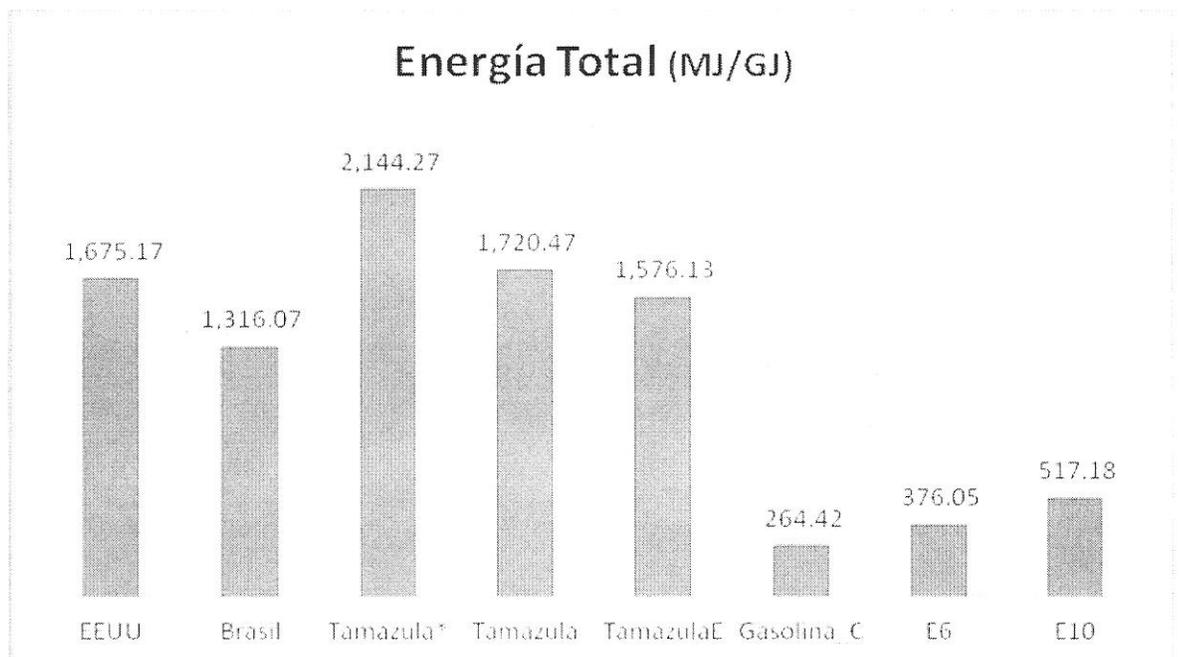


Figura 5. Balance de energía total de los diferentes casos de estudio.

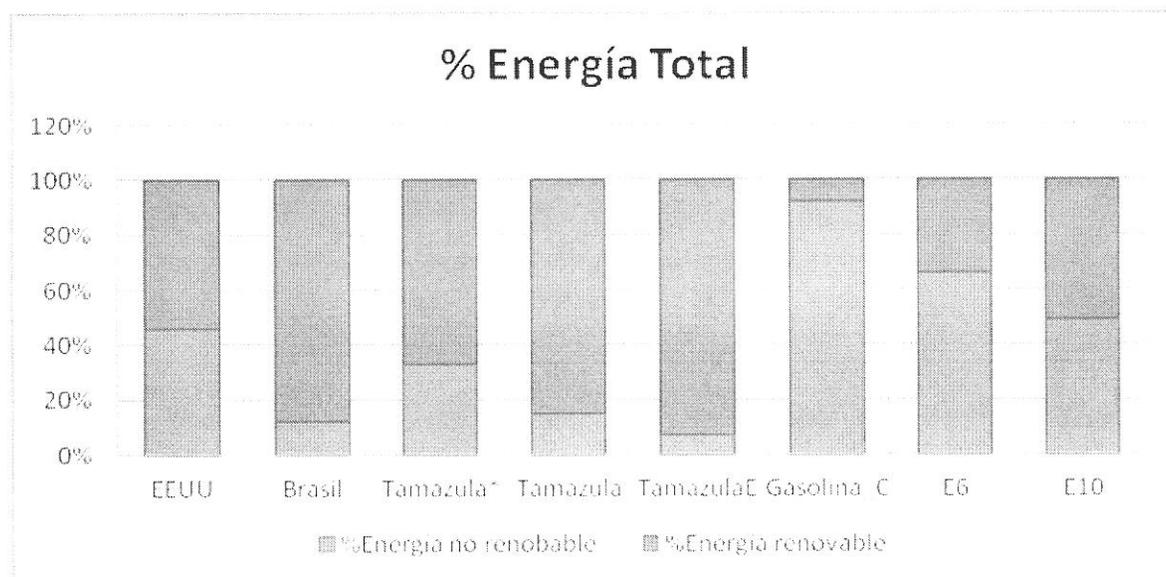


Figura 6. Porcentaje de energía renovable y no renovable de la energía total.

En la tabla 1 se indica la relación que existe al introducir una unidad de energía no renovable y obtener energía disponible. Esto quiere decir que para el caso del etanol de maíz que se produce en EEUU, se tiene que utilizar una unidad de energía no renovable para obtener 1.3 unidades de energía disponible. Se observa que el etanol a partir de caña de azúcar tiene mejor relación que el caso EEUU a base de maíz. Esto mejora en cuanto se genera electricidad a partir de bagazo, algo que no puede realizar una planta de procesamiento de etanol a partir de maíz. Así tenemos que en Tamazula se podría llegar hasta una relación de 8.6.

Tabla1: Relación de energía disponible por unidad de energía no renovable que se introduce en el sistema.

	B	Ta	Tam	Ta	Gas		
U	rasil	mazula*	azula80	mazulaE	olina_C	6	10
	6	1.4	3.8	8.6	4.1		
	.3	.2				.0	.9

III.2 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

La figura 7 muestra el balance de emisiones equivalentes de GEI en el ciclo de vida del etanol para los casos considerados. El caso Brasil muestra una importante disminución de estas emisiones en g/GJ. Dicha reducción es

del orden de 2.3 comparada con la gasolina convencional y 8.6 veces más si se compara con el caso del maíz EEUU.

Para el caso de Tamazula*, se observa un valor positivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto es, al final del ciclo de vida considerado se emiten 2,163.97 gramos por cada GJ disponibles para ser utilizados por el usuario final. Se observa que en el caso de Brasil existe una disminución en 20.3 veces de emisiones de GEI con respecto a Tamazula *. Si se compara con el caso de la gasolina convencional, se observa que en el caso de Tamazula* disminuyen las emisiones 8.6 veces menos que la gasolina convencional. En este sentido puede concluirse que existe una disminución significativa en las emisiones equivalentes de GEI para el caso de Tamazula*, aunque su balance de emisiones sea positivo.

Los resultados generados para el caso de Tamazula son semejantes a aquellos obtenidos para el caso de Brasil y mejoran en el caso TamazulaE. Estos resultados pueden explicarse debido a que se hace un mejor aprovechamiento de la energía renovable ya que se deja de comprar energía eléctrica a CFE.

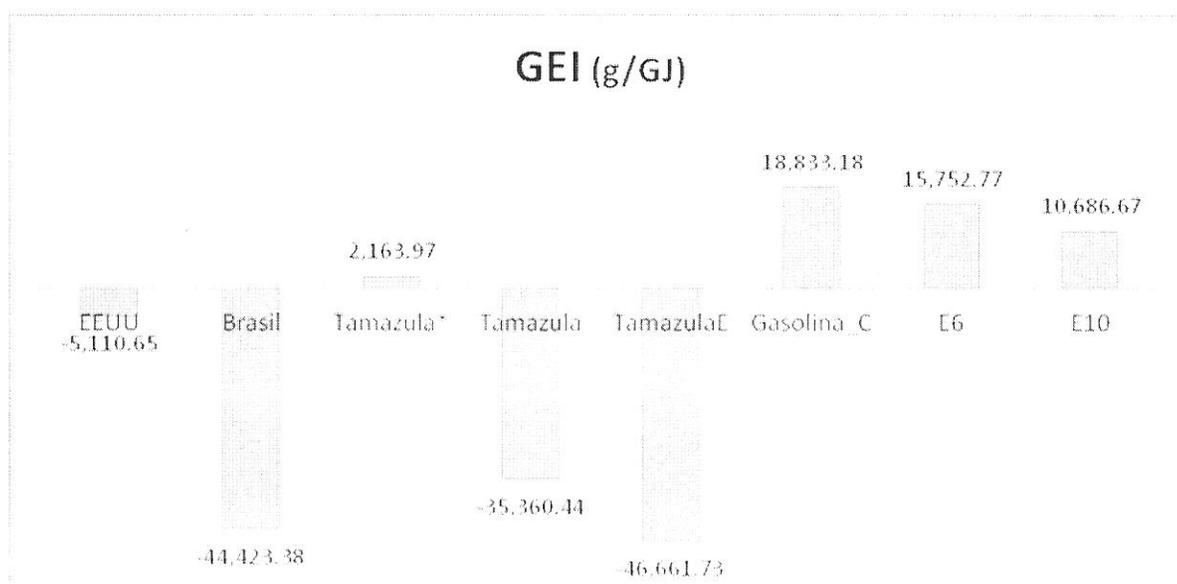


Figura 7. Balance de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el caso de las mezclas E6 y E10, se observa que existe una disminución en el balance de emisiones de gases de efecto invernadero, si es comparado con el caso de Gasolina_C. La disminución de las emisiones se

debe a la combinación de los ciclos de vida de la gasolina convencional y el etanol, lo cual muestra que existe un potencial en la disminución de emisiones de GEI en el ciclo que va de la producción a la distribución (well-to-pump) de las mezclas E6 y E10.

III.3 Emisiones de Óxidos de Azufre

Al igual que las emisiones de NOx y CO ^[8], las emisiones de SOx, en los procesos de fabricación de etanol, son mayores a las generadas durante el proceso de fabricación de la gasolina convencional. Esto se observa en la figura 8. Sin embargo, para el caso del ingenio Tamazula*, este indicador nos muestra que para dicho caso las emisiones de SOx, tienen un incremento de 3.6 veces, con respecto al caso Brasil. Esto es consecuencia de la compra de energía eléctrica a CFE que usa mayormente hidrocarburos. Si se observa el caso Tamazula, es evidente que disminuye la emisión de SOx, y quedan en 10.89 g/GJ por debajo del caso Brasil y 8.81 g/GJ con respecto al caso E.U. Para el caso de TamazulaE las emisiones de SOx son de 3 g/GJ, lo cual muestra una significativa disminución respecto a todos los casos y esto como consecuencia de suministrar energía eléctrica a la red nacional de transferencia y sustituir la quema de hidrocarburos en CFE por energía renovable (bagazo) en el ingenio.

Por otra parte, si se realizan las mezclas E6 y E10, se observa que hay un incremento de las emisiones de SOx, al ser comparadas con la gasolina convencional. Recordemos que para estos casos se ha tomado como referencia el caso de Tamazula. Esto es un punto de atención para mejorar el ciclo de vida del etanol, para que el incremento de las SOx no sea significativo.

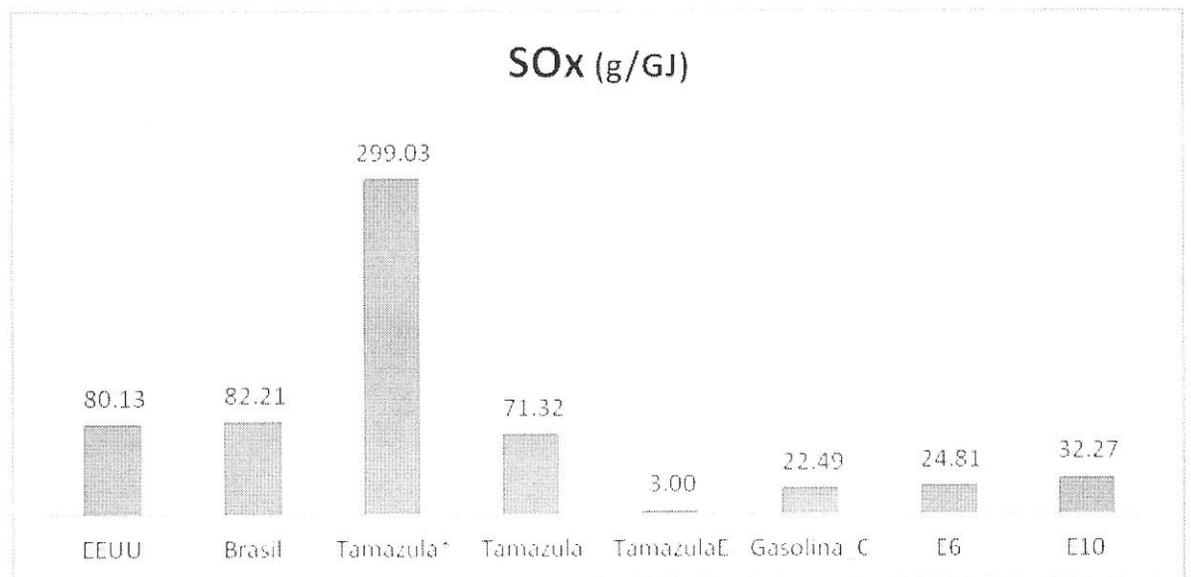


Figura 8. Emisiones de óxidos de azufre.

III.4 Emisiones de partículas suspendidas PM10 y PM2.5

Como se muestra en la figura 9, las emisiones de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, aumentan con respecto al caso de Gasolina _C, para el proceso de producción de etanol a partir de caña de azúcar. Este incremento se debe a la quema de la biomasa durante el proceso. Esto afecta las emisiones de las mezclas E6 y E10 y se puede controlar al instalar filtros en las chimeneas en donde queman el bagazo y tecnificando el campo, para evitar la quema a cielo abierto durante el proceso de corte de la caña de azúcar. Sin embargo, para los casos de Tamazula y TamazulaE las emisiones de partículas suspendidas disminuyen al dejar de quemar hidrocarburos.

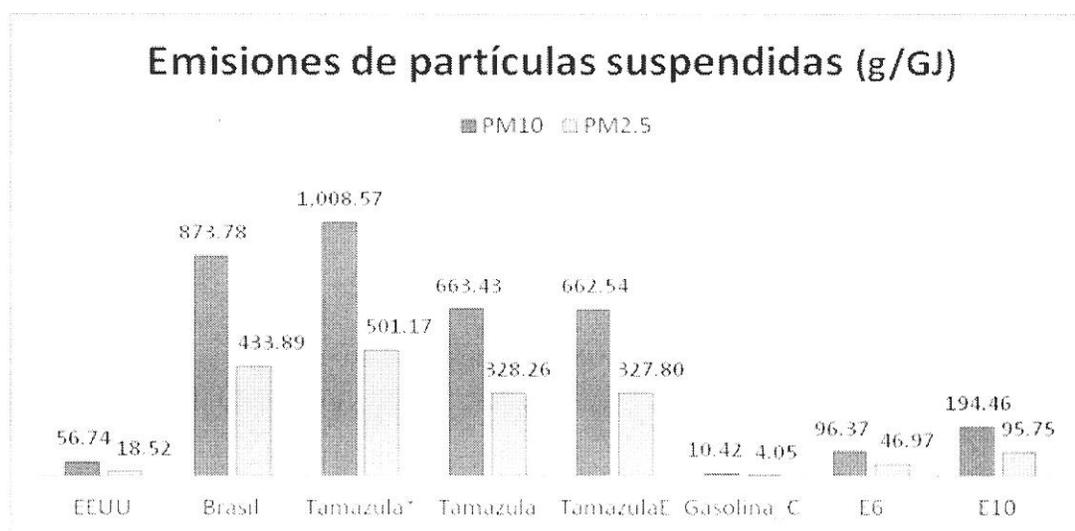


Figura 9. Emisiones de PM10 y PM2.5 durante el proceso de fabricación.

IV. Publicaciones

Se entregaron los borradores de los dos capítulos de libro, comprometidos como productos de éste proyecto, al Dr. Alejandro Álvarez Béjar. Ver anexos.

V. Alumnos graduados

La tesis **Análisis de Ciclo de Vida para el Etanol: Caso de Estudio Ingenio Tamazula**, para obtener el grado de Maestría en Ingeniería de Javier Manríquez fue terminada y éste se graduó el 14 de marzo del 2012. Ver anexos.

VI. Presentaciones

Análisis de Ciclo de Vida para el Etanol: Caso de Estudio Ingenio Tamazula. Congreso Internacional sobre Biocombustibles 2011, WTC Boca del Río, Ver. México.

Seminario CISAN, agosto 2011, Aspectos del ciclo de vida y energía de algunas energías renovables en el sector transporte.

Sesión de carteles: Semana de la Ciencia y la Innovación 2010, ICYT-GDF.

Sesión de carteles: Semana de Ciencia y la Tecnología 2011 ICYT-GDF

Presentación oral: VII Reunión de la Red Mexicana de Bioenergía.

VII. Premios

En la VII Reunión de la Red Mexicana de Bioenergía se obtuvo el primer lugar en presentación de investigación aplicada.

VIII. Trabajo a Futuro

Se planean visitas a otros ingenios en el Estado de Puebla y Veracruz para realizar los estudios de ACV correspondientes y completar el análisis de balance de carbono en suelos por el cultivo de caña de azúcar en conjunto con el Instituto de Geología.

El alumno Javier Manríquez solicitará su entrada al posgrado de Energía o de Ciencias de la Tierra en la UNAM para obtener su doctorado. El tema será acerca de análisis exergetico sobre la producción de etanol en México.

Atentamente:

Arón Jazcilevich Diamant

Responsable del Proyecto

Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM

ANEXO I

DR. ARON JAZCILEVICH DIAMANT

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA



**Universidad Nacional Autónoma de
México**

Facultad de Ingeniería

División de Estudios de Posgrado

***Análisis de Ciclo de Vida para el Etanol:
Caso de Estudio Ingenio Tamazula***

Tesis

Para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

(Ingeniería Industrial)

Presenta:

Aureliano Javier Manríquez García

Dirigida por:

Dr. Arón Jazcilevich Diamant

M.I Ann Wellens Purnal



Ciudad Universitaria

2012

Trámite # 142

UNAM
POSGRADO

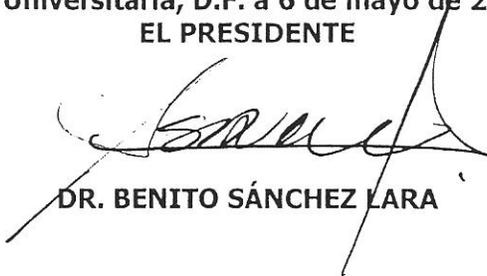
**SUBCOMITÉ ACADÉMICO DEL CAMPO DE
CONOCIMIENTOS DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

DR. LUIS ÁLVAREZ ICAZA LONGORIA
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE POSGRADO
DE INGENIERÍA
Presente

Por este medio informo a usted que el SACC-SISTEMAS en su reunión del 28 de abril de 2011, acordó recomendar al Comité Académico autorizar la incorporación del Dr. Aron Jazcilevch Diamant como tutor principal del alumno de maestría en Ingeniería Industrial: Aureliano Javier Manríquez García, con número de cuenta 097151663.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 6 de mayo de 2011.
EL PRESIDENTE


DR. BENITO SÁNCHEZ LARA

Aprobado per Comité Académico
16 Mayo 2011




16/5/11

RECIBIDO

11 MAY 12 14:04

SECRETARÍA DE
COORDINACIÓN DE
POSGRADO DE INGENIERÍA

Integrantes del Jurado:

Presidente: M.I. Soler Anguiano Francisca Irene

Vocal: Dra. Flores De La Mota Idalia

Secretario: M.I. Wellens Purnal Ann

1er. Suplente: Dr. Jazcilevich Diamant Aron

2do. Suplente: Dra. Cervini Silva Javiera

Lugar en donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, México D.F

Tutor de Tesis:

Dr. Arón Jazcilevich Diamant

M.I Ann Wellens Purnal

Asesor externo:

Dra. Javiera Cervini Silva

Agradecimientos:

Al proyecto PINCC-UNAM: "Producción de etanol en México a partir de la caña de azúcar y su efecto en la emisión de energía" que forma parte del proyecto "Biocombustibles en México: una alternativa para la reducción de la dependencia de los hidrocarburos y para la mitigación de los gases efecto invernadero".

Al proyecto PICS08-31 del Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F.

Al Dr. Arón Jazcilevich Diamant, por su apoyo y consejos para la elaboración de este proyecto.

A la M.I Ann Wellens Purnal por sus consejos y apoyo en la conclusión de este proyecto

A la Dra. Javier Cervini Silva, por su aportación al desarrollo de este proyecto.

Al Ingenio Tamazula en especial al Ing. Roberto Rangel García, por su interés y disponibilidad en el desarrollo de la investigación de campo.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Argonne National Laboratory – Transportation Technology R&D Center en especial a Andy Burnham.

ANEXO

II

Balance de Energía y Emisiones de un Escenario Tecnológico por la Fabricación y Uso de Etanol en México

Por:

Javier Manríquez

Arón Jazcilevich

Centro de Ciencias de la Atmósfera

UNAM

1. Introducción

Los biocombustibles líquidos pueden jugar un papel importante como sustitutos de combustibles obtenidos del petróleo supliendo como oxigenante al Eter Metil Terbutílico (MTBE, por sus siglas en inglés) ^[1]. Esto tiene como ventaja el utilizar energías renovables y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), durante el proceso de producción y durante la utilización del combustible. En el caso particular de Brasil, que ha creado una de las industrias más importantes de etanol derivado de la caña de azúcar, se han utilizado diversas mezclas de etanol-gasolina con 5, 10 y 20% de etanol por volumen de gasolina (E5, E10, E20), hasta llegar a utilizar más del 80% de etanol (E80) en vehículos flex-fuel, a un precio competitivo con respecto al de la gasolina mineral.

Por otra parte, se ha generado una discusión a nivel mundial sobre la viabilidad del uso de biocombustibles líquidos para el sector autotransporte, ya que no se han determinado con exactitud sus efectos a mediano y largo plazo como mitigante de emisiones de GEI y como fuente de energía sustentable. Esto ha motivado la utilización de diversas metodologías para medir los efectos en el medio ambiente por el proceso de fabricación y por el proceso de uso de los biocombustibles.

El modelo Gases de Efecto Invernadero, Regulación de Emisiones y Uso de Energía en el Transporte (GREET, por sus siglas en inglés), es uno de los

modelos más amplios que se han diseñado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Respeto las normas ISO 14000, y simula los procesos de fabricación y uso de diversos biocombustibles y combustibles convencionales.

Con el modelo GREET se pueden comparar las emisiones y balances de energía de diferentes fuentes de energía y los diversos procesos de fabricación tanto de los vehículos como de los combustibles. Para el estudio que aquí se presenta, se ha realizado un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), tomando en cuenta el proceso de fabricación de etanol, desde que se siembran los campos de cultivo hasta que el biocombustible se encuentra disponible para ser utilizado. Con dicha finalidad se diseñó un caso de estudio específico: El ingenio azucarero Tamazula, ubicado en el estado de Jalisco, y la posibilidad de producir etanol para la Ciudad de Guadalajara. Actualmente el ingenio Tamazula produce alcohol para uso farmacéutico y humano, lo cual indica que se encuentra a 96% de pureza y el etanol debe de estar a un 99.9% de pureza. Por lo tanto este estudio es hipotético con el fin de establecer la viabilidad de la producción de etanol en dicho ingenio.

En México se han realizado diversos estudios de ACV de etanol, entre los que destacan los realizados por el Centro Mario Molina ^[2] y por el Centro de Investigación en Energía ^[3] de la UNAM. El modelo GREET aquí utilizado, tiene la posibilidad de tratar el caso de caña de azúcar, por lo que se le ha utilizado para estudiar el caso de Brasil.

Se han establecido dos escenarios en donde se mezcla el etanol (proveniente del Ingenio Tamazula) en 6% y 10% de volumen, con gasolina convencional (sin MTBE). La mezcla se realiza en un centro de mezclado en la ciudad de Guadalajara, Jalisco y posteriormente es distribuida a las estaciones de servicio.

2. Concepto de Análisis de Ciclo de Vida

El ciclo de vida de un producto considera toda la "historia" del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Se toma en cuenta todas las fases intermedias como: transporte, preparación de las materias

primas, manufactura, hasta su distribución final^[4]. En la actualidad muchas empresas se han enfocado a observar el comportamiento ambiental que tienen sus productos o servicios. Esto se debe a la presión que se tiene por las nuevas legislaciones y normas ambientales. Por otra parte, existe presión de grupos de consumidores que demandan productos competitivos y con ventajas ambientales, como la disminución de emisiones de GEI y preservación de fuentes no renovables. La realización de estos estudios permite a una empresa obtener ventajas en el mercado frente a sus competidores.

El análisis de ciclo de vida (ACV) ^[5], es un instrumento eficaz para informar acerca del rendimiento ambiental de la empresa, mejorar el impacto ambiental de sus productos e identificar los ahorros en costos asociados con la fabricación y los métodos de eliminación de residuos. Un ejemplo de un ciclo de vida (CV), es la producción de automóviles convencionales (*figura 1*). Este proceso parte desde la extracción de la materia prima, hasta el reciclado del mismo. Durante este proceso, existe uso de energía, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), costos económicos, etc., que los ACV's pueden evaluar.



Figura 1. Ejemplo de ciclo de vida de la producción de automóviles.

3. Un caso de estudio: Posible fabricación de etanol en el Ingenio Tamazula

Se ha utilizado el modelo GREET para analizar el ciclo de vida del proceso de fabricación del alcohol. Se ha elegido a la caña de azúcar como materia prima debido a que en México la infraestructura de la industria azucarera se ha desarrollado desde el siglo XV.

El periodo de zafra comienza a finales del otoño y finaliza a principios del verano, con un tiempo de duración de 300 días en promedio ^[6]. La duración varía de acuerdo con la capacidad de producción del ingenio y con la demanda del mercado.

Para efectos del desarrollo de este estudio se recurrió a la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA). Se determinó que el ingenio Tamazula se encuentra estratégicamente ubicado para la producción y consumo de etanol para la ciudad de Guadalajara. Se seleccionó el ingenio Tamazula como caso de estudio debido a que de acuerdo con historial de producción de alcohol es representativo de los ingenios mexicanos y como se ha mencionado, es cercano a un mercado potencial de etanol. Datos proporcionados por la Unión Nacional de Cañeros A.C (UNC) ^[6] muestran que el ingenio Tamazula tuvo una producción de 2,916,370 litros de alcohol en la zafra 2009/2010.

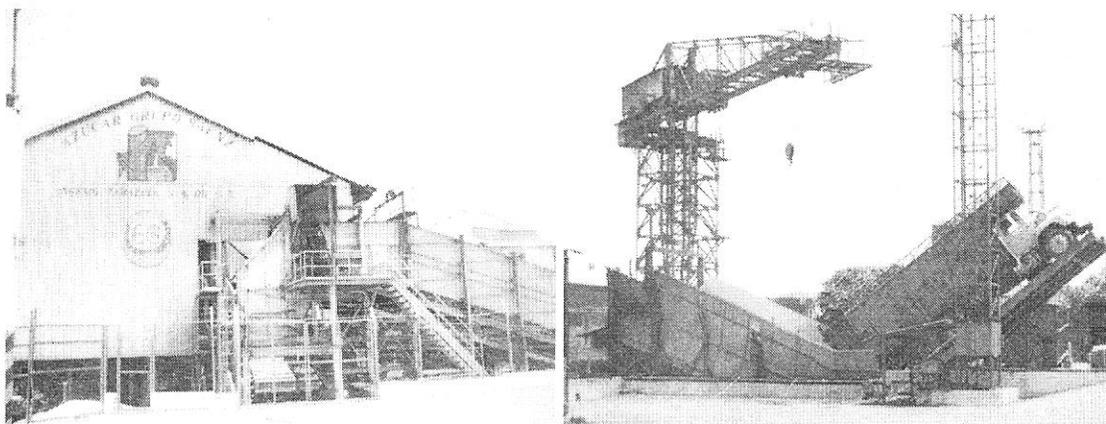


Figura 2: Izq. Vista general del ingenio Tamazula. Der. Descarga de caña de azúcar para su molienda.

3.1 Fronteras del sistema

Para realizar un análisis de ciclo de vida es necesario delimitar el caso de estudio así como establecer indicadores apropiados. Para el caso del ingenio Tamazula, se ha tomado en cuenta las siguientes etapas del proceso: preparación del suelo, siembra de la caña de azúcar, aplicación de fertilizantes, quema a cielo abierto, corte de la caña manual y mecanizado, transporte de los campos de cultivo al ingenio, generación propia de energía eléctrica, compra de energía eléctrica a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y producción de alcohol. Estas etapas se ilustran en la figura 3. Por medio del modelo GREET se ha tomado en cuenta la energía necesaria para fabricar los equipos agrícolas e industriales que intervienen en el ciclo de vida del etanol. Las etapas anteriores se han establecido de acuerdo a la operación del ingenio Tamazula hasta el año 2010, año en que se realizó una primera visita y se denomina como Tamazula*. En este caso, la operación depende de la compra de energía eléctrica a la CFE. Se construye otro escenario a considerar por GREET, donde el ingenio Tamazula cuenta con la capacidad para generar su propia energía eléctrica y abastecer al 100% su demanda interna de energía eléctrica. A este caso se le denomina Tamazula.

Por otra parte, se realizó una segunda visita al ingenio Tamazula en el año 2011, y se obtuvo información relacionada con el proyecto de generar el 100% de la energía eléctrica que consume el ingenio y además exportar 20Mwh de energía eléctrica al sistema eléctrico nacional, por lo cual se estableció un tercer escenario para el ingenio Tamazula, en donde la fábrica de alcohol tiene la capacidad de generar 1Mwh de energía eléctrica, de los cuales consume 800kwh, para su operación y los 200kwh restantes, son enviados a la red de CFE. A este escenario se le denominó TamazulaE.

Los resultados de los escenarios Tamazula*, Tamazula y TamazulaE serán comparados con tres escenarios previamente estudiados con el modelo GREET: los de la gasolina convencional para el mercado local, denominado Gasolina_C, etanol procedente de maíz para el mercado de Estados Unidos,

denominado EEUU, y el caso del etanol de caña de azúcar fabricado en Brasil para el mercado de Brasil, que se denomina Brasil. Para este estudio no se ha considerado el cambio de uso de suelo adicional para fabricar etanol, lo cual incurre en emisiones adicionales de GEI.

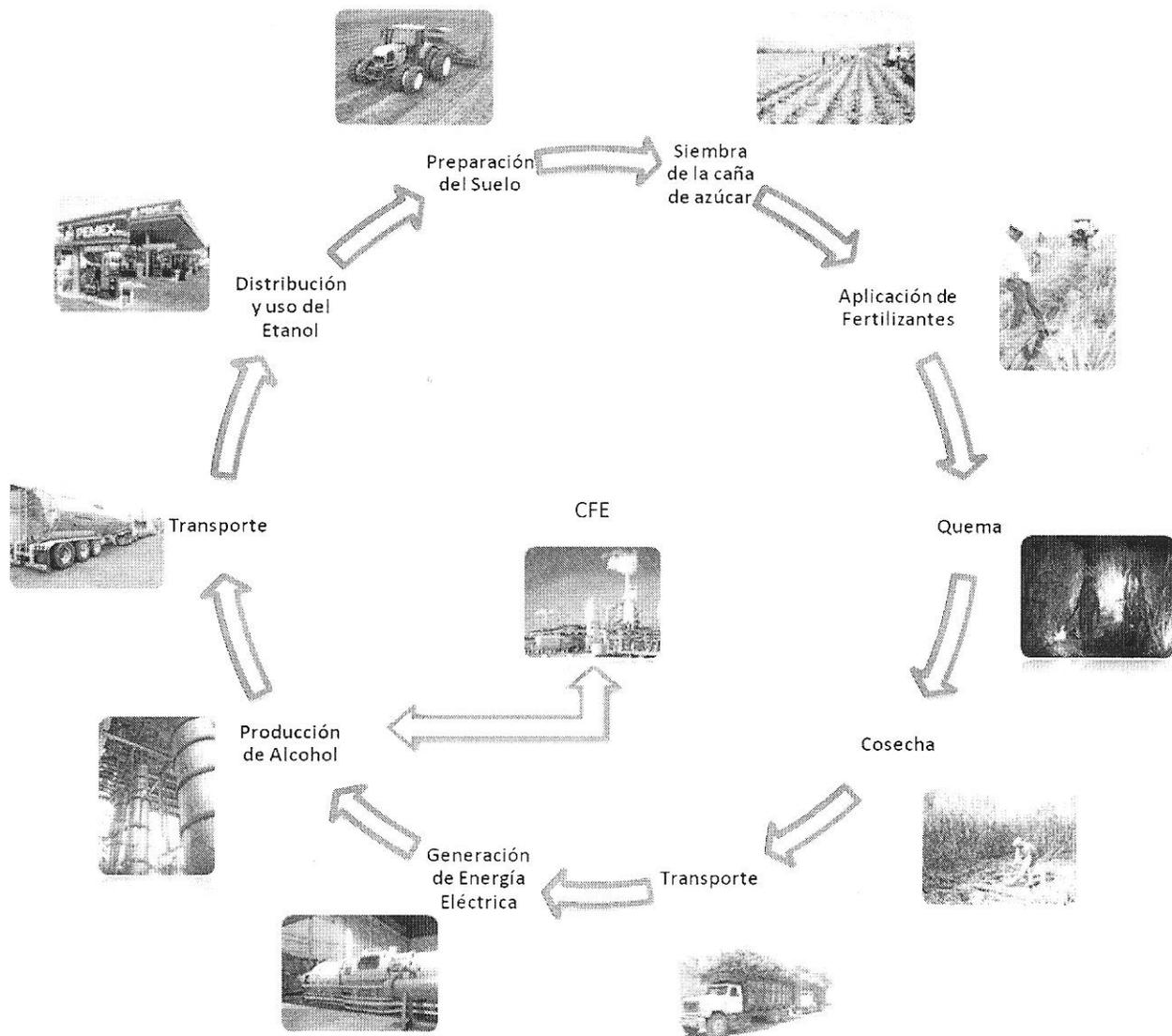


Figura 3. Ciclo de vida del etanol en el ingenio Tamazula.

Bajo estas condiciones, los indicadores que se toman en cuenta son: energía total, energía renovable y no renovable, emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O), compuestos orgánicos volátiles, monóxido de

carbono, óxidos nitrosos, PM_{10} , $PM_{2.5}$ y óxidos de azufre. Otras emisiones se pueden consultar en [8].

3.2 Mezclas E6 y E10

Los automóviles que se encuentran en el mercado mexicano desde el año 2002, cuentan con la capacidad tecnológica de utilizar mezclas de gasolina convencional y etanol en un porcentaje en volumen de hasta 10% en volumen del total del combustible, como es el caso en los EEUU. Cuando el etanol es mezclado en proporciones relativamente bajas, tiene la función de ser un oxigenante de la gasolina convencional mejorando la combustión. El etanol tiene un mayor octanaje, aunque menor capacidad calorífica. Esto lo hace un buen sustituto del MTBE. Éste es un derivado del petróleo y es altamente contaminante de mantos acuíferos si se llega a filtrar a la tierra a través de los tanques de almacenamiento.

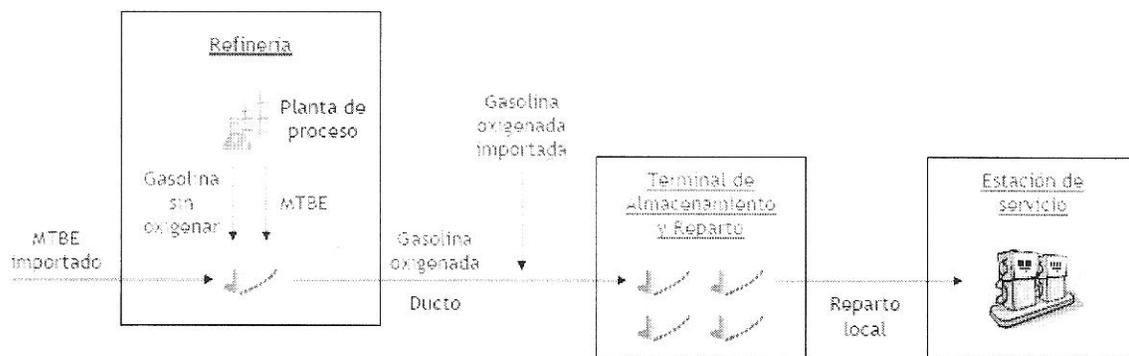


Figura 4: Cadena de Suministro de la gasolina comercializada en México.

En la figura 4 se muestra la cadena de suministro de la gasolina que se comercializa en México. Un porcentaje de MTBE es producido en México y otro importado, el cual es mezclado y enviado a un ducto en donde se mezcla con gasolina oxigenada. Ésta mezcla es enviada a una terminal de reparto y a su vez a las estaciones de servicio locales, por medio de camiones cisterna.

Se ha elegido realizar un escenario en donde el etanol que se produce en el ingenio Tamazula, se transporta hasta una terminal de almacenamiento en las inmediaciones de la ciudad de Guadalajara y se mezcla con la gasolina convencional base (sin MTBE) que es importada por Petróleos Mexicanos (PEMEX). Al sustituir el MTBE por etanol, la cadena de suministro de la figura 4 se modifica y se establecería como se muestra en la figura 5. Como se observa, la cadena de suministro de la gasolina comercializada en Guadalajara ahora involucra el ciclo de vida del etanol.

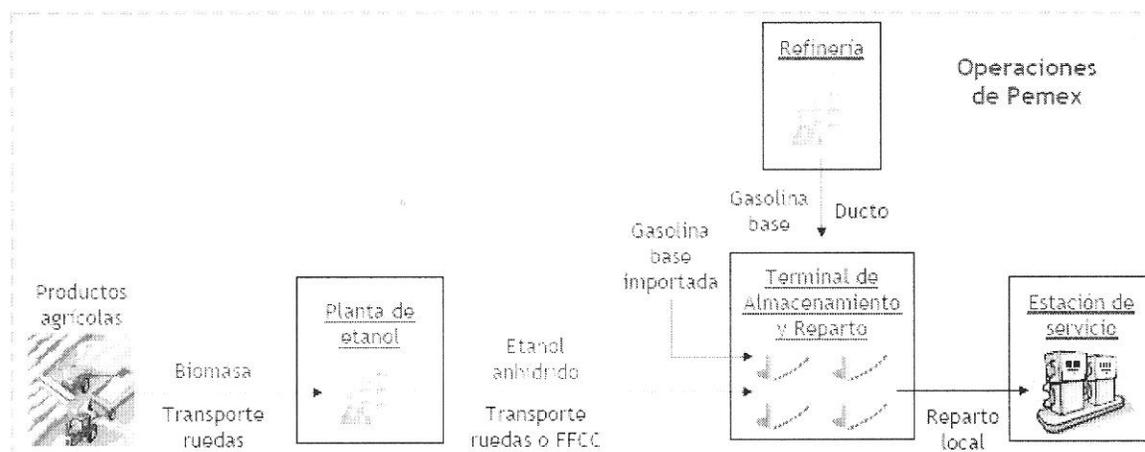


Figura 5: Cadena de Suministro para las mezclas E6 y E10.

Para realizar este escenario se han elegido las mezclas E6 y E10, que consiste en mezclar un 6% y 10% en volumen de etanol con un 94% y 90% de gasolina convencional respectivamente. El ciclo de vida del etanol que se ha tomado en cuenta es el caso en donde el ingenio Tamazula satisface en un 100% su propia demanda de energía eléctrica (Tamazula). Para realizar estas mezclas es necesario transportar el etanol del ingenio Tamazula al centro de mezclado. Para esta operación se ha elegido el transporte mediante pipas. Sin embargo, no está descartada la posibilidad de utilizar transporte ferroviario en un futuro próximo.

4. Resultados

Los resultados que se presentan hacen un comparativo entre los escenarios de gasolina convencional (Gasolina_C), a partir de maíz (E.U) y caña de azúcar en Brasil (Brasil) con los escenarios Tamazula*, Tamazula y TamazulaE. También se muestran los resultados de las mezclas de gasolina base con etanol, para obtener las E6 y E10. Este último análisis muestra el balance energético y de emisiones de un escenario de producción de etanol para uso automotor en Guadalajara.

4.1 Balance de Energía

En la figura 6 se ilustra la cantidad de energía que se necesita consumir para producir un GJ de etanol y/o gasolina convencional en el proceso de producción desde la siembra a la bomba de gasolina (well-to-pump). Se observa que el consumo de energía es mayor en el caso de Tamazula* al compararlo con los casos de E.U y Brasil. Esto se debe a la compra de energía eléctrica a CFE, ya que el 75% de la energía eléctrica que se produce en el país proviene de plantas termoeléctricas, en donde se queman hidrocarburos.

Para el caso Tamazula, en donde el ingenio produce su propia energía eléctrica, se observa que existe una disminución de consumo de energía no renovable en el proceso por lo que se aproxima a los casos de EEUU y Brasil. Sin embargo, cuando el ingenio es capaz de producir el 100% de la energía eléctrica que consume y cuenta con la capacidad de exportar energía eléctrica sigue disminuyendo la energía total que se requiere en el proceso, como es el caso TamazulaE.

En los casos de E6 y E10 se observa que se incrementa el consumo de energía si es comparado con el caso Gasolina_C. Sin embargo la figura 7 muestra el comparativo de energía renovable y no renovable que es utilizada en cada caso. Se observa que los casos en donde se fabrica etanol procedente de caña de azúcar, tienen un mejor aprovechamiento de la energía renovable. Esto se debe a que la biomasa (bagazo), es utilizada para generar energía eléctrica en las plantas productoras, lo cual implica que se deja de quemar hidrocarburos de las plantas de CFE.

En la figura 7 también se observa que al utilizar mezclas de etanol con gasolina convencional (E6, E10), se incrementa el consumo de energía renovable a lo largo del ciclo de vida de dichas mezclas, desde que se obtiene la materia prima hasta que el bien se encuentra en una estación de servicio (well-to-pump).

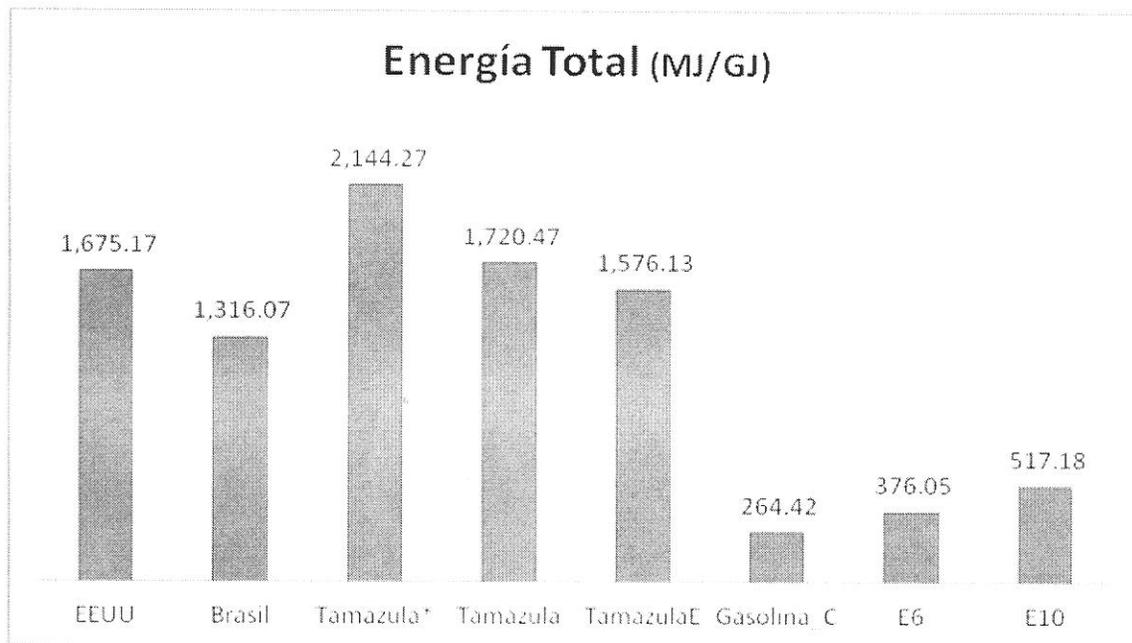


Figura 6: Balance de energía total de los diferentes casos de estudio.

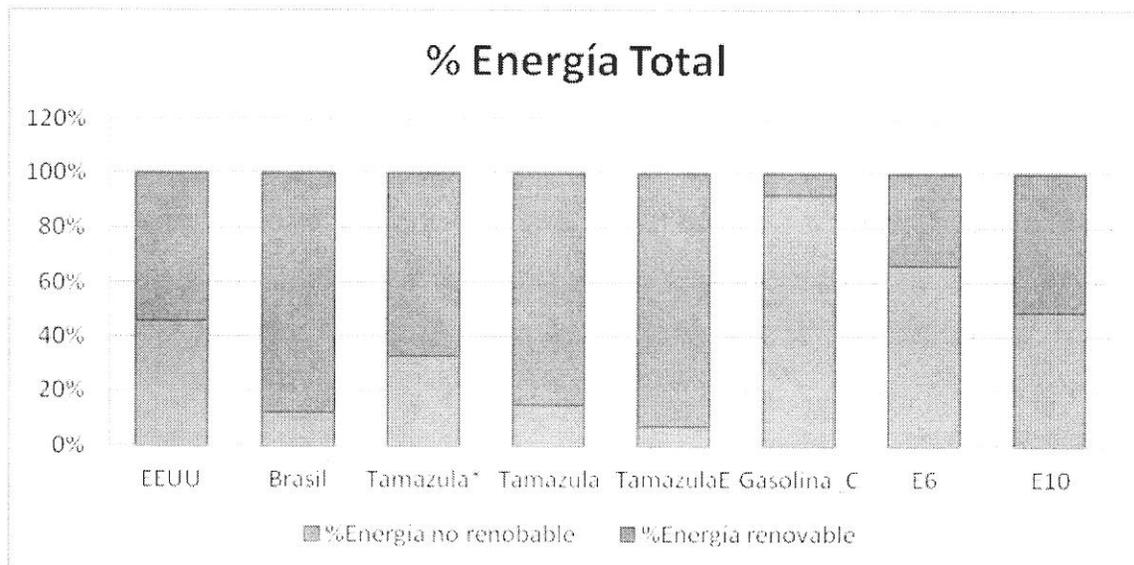


Figura 7: Porcentaje de energía renovable y no renovable de la energía total.

En la tabla 1 se indica la relación que existe al introducir una unidad de energía no renovable y obtener energía disponible. Esto quiere decir que para el

caso del etanol de maíz que se produce en EEUU, se tiene que utilizar una unidad de energía no renovable para obtener 1.3 unidades de energía disponible. Se observa que el etanol a partir de caña de azúcar tiene mejor relación que el caso EEUU a base de maíz. Esto mejora en cuanto se genera electricidad a partir de bagazo, algo que no puede realizar una planta de procesamiento de etanol a partir de maíz. Así tenemos que en Tamazula se podría llegar hasta una relación de 8.6.

EU	Brasil	Tamazula*	Tamazula80	TamazulaE	Gasolina_C	E6	E10
1.3	6.2	1.4	3.8	8.6	4.1	4.0	3.9

Tabla1: Relación de energía disponible por unidad de energía no renovable que se introduce en el sistema.

4.2 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

La figura 8 muestra el balance de emisiones equivalentes de GEI en el ciclo de vida del etanol para los casos considerados. El caso Brasil muestra una importante disminución de estas emisiones en g/GJ. Dicha reducción es del orden de 2.3 comparada con la gasolina convencional y 8.6 veces más si se compara con el caso del maíz EEUU.

Para el caso de Tamazula*, se observa un valor positivo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto es, al final del ciclo de vida considerado se emiten 2,163.97 gramos por cada GJ disponibles para ser utilizados por el usuario final. Se observa que en el caso de Brasil existe una disminución en 20.3 veces de emisiones de GEI con respecto a Tamazula *. Si se compara con el caso de la gasolina convencional, se observa que en el caso de Tamazula* disminuyen las emisiones 8.6 veces menos que la gasolina convencional. En este sentido puede concluirse que existe una disminución significativa en las emisiones equivalentes de GEI para el caso de Tamazula*, aunque su balance de emisiones sea positivo.

Los resultados generados para el caso de Tamazula son semejantes a aquellos obtenidos para el caso de Brasil y mejoran en el caso TamazulaE. Estos

resultados pueden explicarse debido a que se hace un mejor aprovechamiento de la energía renovable ya que se deja de comprar energía eléctrica a CFE.

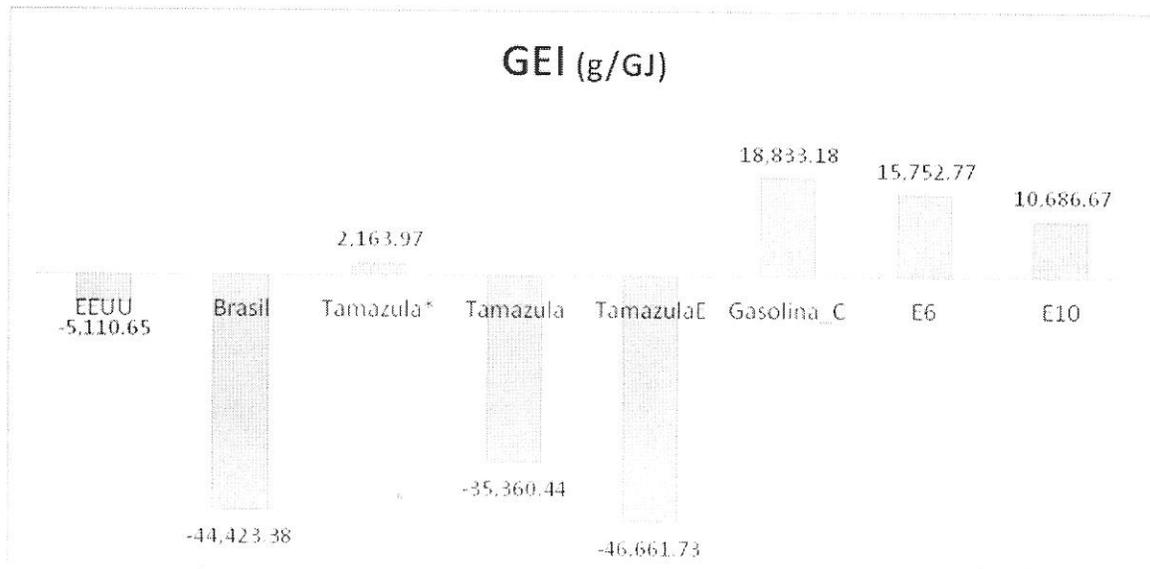


Figura 8: Balance de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el caso de las mezclas E6 y E10, se observa que existe una disminución en el balance de emisiones de gases de efecto invernadero, si es comparado con el caso de Gasolina_C. La disminución de las emisiones se debe a la combinación de los ciclos de vida de la gasolina convencional y el etanol, lo cual muestra que existe un potencial en la disminución de emisiones de GEI en el ciclo que va de la producción a la distribución (well-to-pump) de las mezclas E6 y E10.

4.3 Emisiones de Óxidos de Azufre

Al igual que las emisiones de NO_x y CO^[8], las emisiones de SO_x, en los procesos de fabricación de etanol, son mayores a las generadas durante el proceso de fabricación de la gasolina convencional. Esto se observa en la figura 9. Sin embargo, para el caso del ingenio Tamazula*, este indicador nos muestra que para dicho caso las emisiones de SO_x, tienen un incremento de 3.6 veces, con respecto al caso Brasil. Esto es consecuencia de la compra de energía eléctrica a

CFE que usa mayormente hidrocarburos. Si se observa el caso Tamazula, es evidente que disminuye la emisión de SO_x, y quedan en 10.89 g/GJ por debajo del caso Brasil y 8.81 g/GJ con respecto al caso E.U. Para el caso de TamazulaE las emisiones de SO_x son de 3 g/GJ, lo cual muestra una significativa disminución respecto a todos los casos y esto como consecuencia de suministrar energía eléctrica a la red nacional de transferencia y sustituir la quema de hidrocarburos en CFE por energía renovable (bagazo) en el ingenio.

Por otra parte, si se realizan las mezclas E6 y E10, se observa que hay un incremento de las emisiones de SO_x, al ser comparadas con la gasolina convencional. Recordemos que para estos casos se ha tomado como referencia el caso de Tamazula. Esto es un punto de atención para mejorar el ciclo de vida del etanol, para que el incremento de las SO_x no sea significativo.

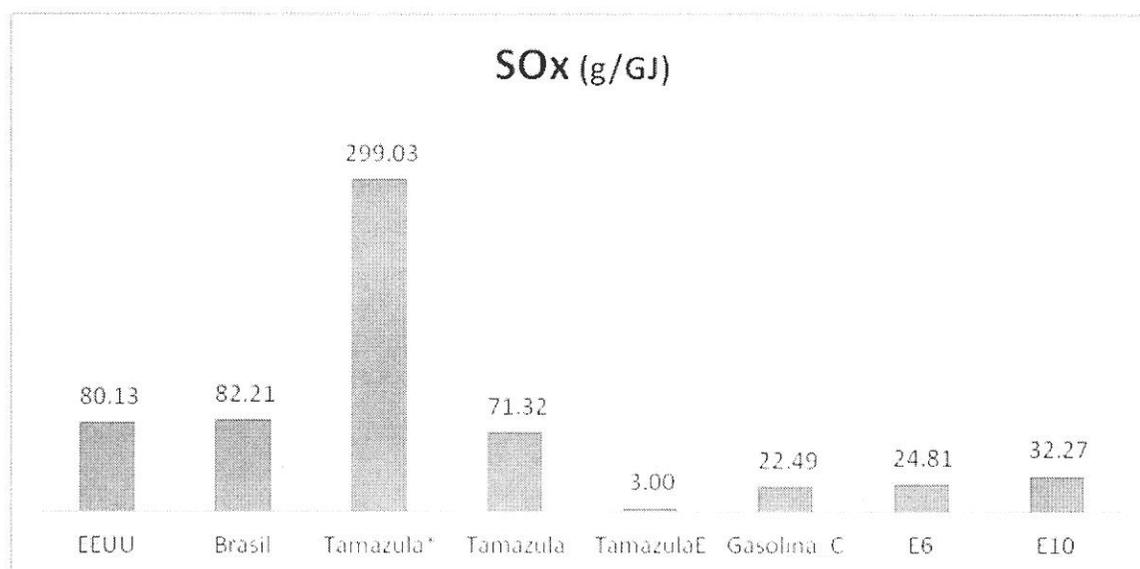


Figura 9: Emisiones de óxidos de azufre.

4.4 Emisiones de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}

Las emisiones de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, aumentan con respecto al caso de Gasolina C, para el proceso de producción de etanol a partir de caña de azúcar. Este incremento se debe a la quema de la biomasa durante el proceso. Esto afecta las emisiones de las mezclas E6 y E10 y se puede controlar

ingenio en una fuente de abastecimiento de energía eléctrica, se observó que existe un mejor aprovechamiento de la energía renovable, obteniéndose 8.6 unidades de energía disponible por cada unidad de energía no renovable utilizada en el proceso.

Las modificaciones que se deben de hacer en el ingenio Tamazula, deben enfocarse a la autonomía energética (energía eléctrica) y a la eficiencia de producción. Esto lo muestran los casos Tamazula y TamazulaE. Esto se muestra en la tabla 1.

Para el caso del ingenio Tamazula se consideró que se producen 80 litros de etanol por cada tonelada de caña molida. Sin embargo para el caso de Brasil se obtienen 90 litros de etanol por tonelada de caña de azúcar.

El caso de Tamazula y TamazulaE las emisiones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , disminuyen en un 40% con respecto al caso Tamazula*. Para los casos Tamazula y TamazulaE se incrementan estas emisiones de manera significativa con respecto a la fabricación de gasolina convencional. Para las mezclas de etanol E6 y E10 las emisiones de partículas suspendidas se pueden incrementar de 9 a 19 veces éstas emisiones, respectivamente. Deben implementarse modificaciones en la zafra e introducir sistemas de filtraje de partículas en chimeneas para evitar este problema.

Las emisiones de SO_x , en el caso de Tamazula* son mayores en una relación de 2 a 1 con respecto a todos los casos, como una consecuencia de la compra de energía eléctrica a CFE. Al modificar las condiciones actuales y obtener el caso Tamazula, la situación es equiparable con el caso de Brasil, y se tiene una significativa disminución para el caso TamazulaE.

Se concluye que un ingenio como el de Tamazula podría ser competitivo en cuanto a balance de energía y emisiones de GEI siempre y cuando se sustituya la compra de electricidad a CFE por generación de energía eléctrica del bagazo. Un ingenio co-generador de energía eléctrica (TamazulaE) puede contribuir al

mejor aprovechamiento de la energía no renovable y a la disminución de emisiones de GEI.

Este trabajo señala que como primer paso, los ingenios mexicanos deben de contar con autonomía energética, contribuyendo a la disminución en el uso de fuentes de energía no renovable. Como segundo paso se debe de realizar un análisis en los ingenios azucareros que cuenten con un potencial de producción para fabricar etanol como sustituto del MTBE en mezclas del 6% y 10% en volumen.

Bibliografía

- [1] Masera C., Rodríguez M., Weber M., *"Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México"*. Secretaría de Energía, 2006.
- [2] Lacy R., *"Biocombustibles"*, Centro Mario Molina, 2008.
- [3] García C., Fuentes A., Hennecke A., Riegelhaupt E., Manzini F., Masera O., *"Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico"*, Applied Energy, 2011.
- [4] García L., *"Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales"*, Universidad Politécnica de Cataluña, 2004.
- [5] Basic Principles of Life-Cycle Assessment (LCA), INCOMIA, Octubre 2007.
- [6] Agronegocios, *"Perspectivas de la producción de Biocombustibles en México"*, 2008.
- [7] Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2009/2010, Union Nacional de Cañeros A.C
- [8] Manríquez A., *"Análisis de Ciclo de Vida para el Etanol: Caso de Estudio Ingenio Tamazula"*, UNAM, 2012.

al instalar filtros en las chimeneas en donde queman el bagazo y tecnificando el campo, para evitar la quema a cielo abierto durante el proceso de corte de la caña de azúcar. Sin embargo, para los casos de Tamazula y TamazulaE las emisiones de partículas suspendidas disminuyen al dejar de quemar hidrocarburos.

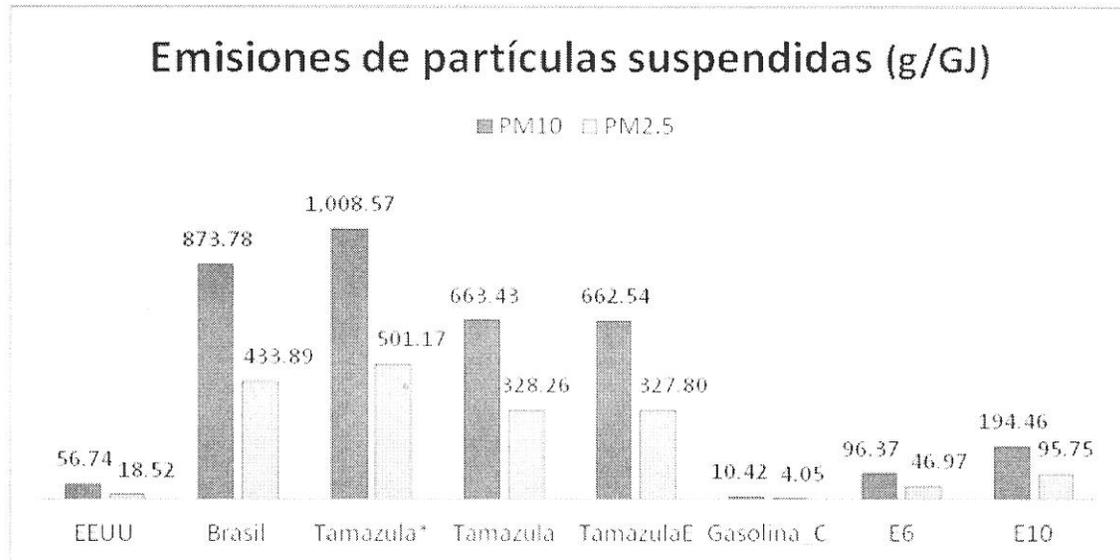


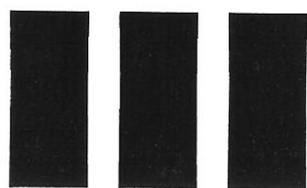
Figura 10: PM_{10} y $PM_{2.5}$ emitidas durante el proceso de fabricación.

Conclusiones

La utilización del modelo GREET en conjunto con visitas de campo y datos encontrados en la literatura, permitieron identificar los puntos críticos del ciclo de vida de la fabricación de etanol para el caso del ingenio Tamazula. Se detectó que la eficiencia de la producción de etanol para el caso Tamazula*, es de 80 litros de alcohol por tonelada de caña, con un consumo de 0.757 kWh de energía eléctrica de CFE por litro de alcohol. Esto hace que se consuma 20% más de energía no renovable y emita 105% más de GEI con respecto al caso de Brasil.

Al eliminar la compra de energía eléctrica a CFE así como generar energía eléctrica mediante bagazo, se obtuvo el caso Tamazula. En este caso, se consume 20% más de energía renovable, 60% menos de no renovable y se emite 17.28% más de GEI con respecto al caso de Brasil. Sin embargo, al convertir al

ANEXO



Una Visión Acerca de Energía, Cambio Climático y Biocombustibles

Por:

Arón Jazcilevich

Centro de Ciencias de la Atmósfera

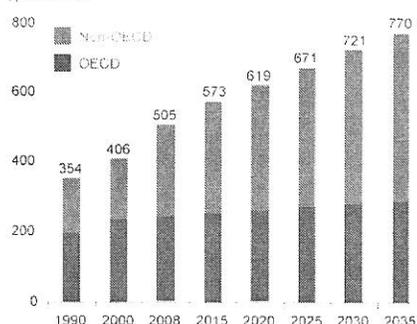
UNAM

Introducción

Para el año 2035 el consumo energético en el mundo crecerá un 53%^[1] y al mismo tiempo, la oferta de energía fósil de “fuentes tradicionales” como yacimientos petroleros y de gas en tierra y en aguas someras, comienza su descenso^[2]. Esto se muestra en las figuras 1 a y b. En los últimos años esta situación impulsó el desarrollo de fuentes renovables de energía como la solar, eólica, maremotriz, geotérmica y los biocombustibles.

El caso de Brasil, país que desde los 80's inauguró una política nacional energética basada en los biocombustibles, y el avance tecnológico que hacía eficientes y competitivas las nuevas tecnologías para producir energía del Sol, del aire y de fuentes biológicas, pero mas que nada el aumento de los precios de la energía, suponían el éxito de las fuentes renovables. No solamente esto, sino que al imponerse se ganaría terreno en la lucha para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI's), proporcionando a las fuentes renovables de un aura ambiental. La conexión entre energía y la reducción de GEI's se explicitó gracias a que las fuentes renovables las volvieron compatibles.

Figure 1 World energy consumption, 1990-2035
Quadrillion Btu



World Oil Production 1900-2080

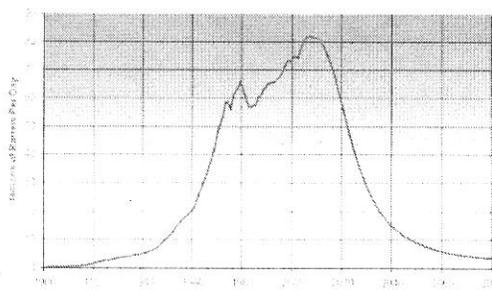


Fig. 1. En (a) consumo energético de 1990 a 2035 en países miembros y no-miembros de la OCDE. Extraído de [1]. En (b), producción mundial de petróleo. Extraído de [2].

Sin embargo algunas de las fuentes renovables como los biocombustibles no llenaron las expectativas en cuanto a beneficios ecológicos, una vez que se tomaron en cuenta factores que no se habían considerado como: afectaciones en la diversidad de especies, competencia con productos agrícolas alimentarios, gasto de agua, cambio de uso de suelo y las correspondientes emisiones de contaminantes líquidos y a la atmósfera así como factores sociales. Es por esta razón varios de los planes en cuanto a biocombustibles en la Comunidad Europea concebidos en los 90's y principios del Siglo XXI, han sido reescalados, o bien, replanteados. Esta situación ha provisto de enseñanzas a los tomadores de decisión para el diseño de estrategias energéticas.

Con respecto a las energías renovables, el IPCC destaca que “una serie de políticas gubernamentales (que) han permitido acelerar la implementación de tecnologías de energías renovables, tales como regulaciones (tarifas fijas, cuotas, acceso prioritario a redes, normativas de construcción, mezclas obligatorias de biocombustibles, criterios de sostenibilidad bioenergética), incentivos fiscales (políticas fiscales, pagos directos del gobierno como descuentos y donaciones) y mecanismos de financiamiento público (préstamos o garantías). Estas políticas podrían implementarse a nivel local, provincial/estatal o nacional” [3].

A continuación se presenta una visión de la situación energética y el papel que las energías renovables pueden jugar para reducir las emisiones de GEI's y alargar la vida de los hidrocarburos fósiles, esenciales para la industria, transporte y agricultura modernas. Se concentra nuestra atención en el etanol a partir de caña de azúcar, uno de los biocombustibles con los que el país podría contar.

Una nueva realidad energética

Desde 2008 nuevas fuentes fósiles “no tradicionales” como la explotación de yacimientos de petróleo y gas en aguas profundas, así como yacimientos de

arenas bituminosas (*tar sands*) y de esquistos (*shale*), han irrumpido en el mercado energético. Al tratarse de hidrocarburos de origen mineral, estas fuentes no son compatibles con la disminución de la emisión de GEI's, como en alguna medida las fuentes renovables lo son, pero tienen el potencial para mejorar la oferta energética en el mundo e implicaciones estratégicas benéficas para muchos países. Esta situación se ha favorecido, por un lado, gracias al aumento en los precios de petróleo, ya que se han hecho rentables la explotación de estos yacimientos y, por otro, al perfeccionamiento de dos tecnologías concurrentes: la perforación horizontal y la fracturación hidráulica (*fracking*)^[4].

Se espera que varios países que anteriormente eran importadores netos de petróleo y gas natural, estén por convertirse en exportadores de estos productos^[5]. En América del Norte en enero del 2012 el gas natural alcanza ya uno de los precios históricos mas bajos de aproximadamente 2 Dlls por MMBtu, ver Fig.2.

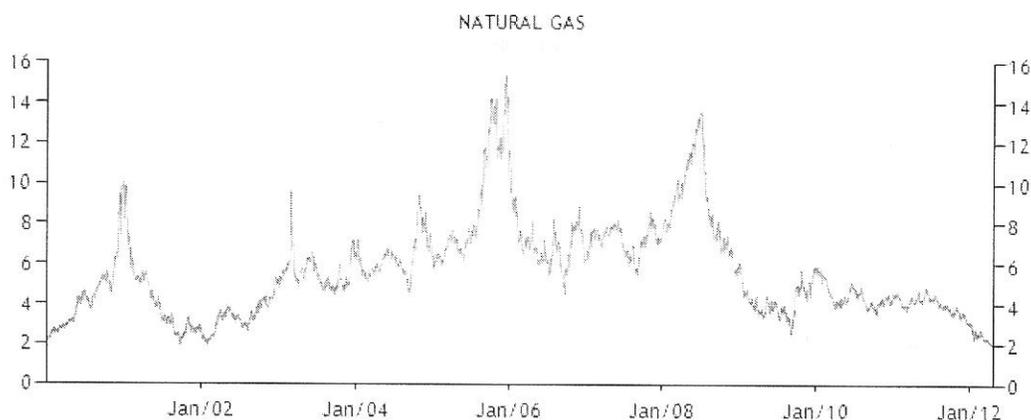


Fig. 2. Variación histórica de los precios de gas natural en los EEUU. (MMBTU = millones de BTU,^[6])

Según una visión muy optimista de analistas de la firma Raymond James en Houston, los EEUU podrán dejar de importar petróleo y gas para el 2020^[7]. Se enumeran algunos de los factores por los que esto podría suceder adicionando información pertinente:

- Mejora en el gasto de combustible de la flota vehicular.

Esto es importante ya que el sector transporte en los EEUU usa el 27.7% de la energía primaria (en México es del 49%, ^[8]). El Promedio de Eficiencia de Combustible Corporativa, (CAFÉ: Corporate Average Fuel Efficiency), llegará a 54.5 millas por galón en 2025. Actualmente (2012) está en 35 millas por galón. El objetivo, es ahorrar 12 billones de barriles durante la vida de este programa ^[9].

- Se espera una disminución en las distancias recorridas en automóvil. En el 2003 se llegó a un máximo de 12,500 millas por año, pero de acuerdo con estimaciones de Citigroup podrían bajar a 11,600 millas por año en el 2020. Se aprecia ya una desvinculación entre el crecimiento del Producto Doméstico Bruto (GDP) y millas recorridas por vehículo (VMT, Vehicle Miles Traveled), como se muestra en la Fig. 3 ^[10].

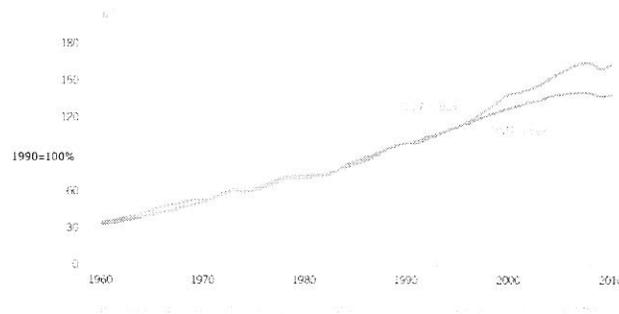
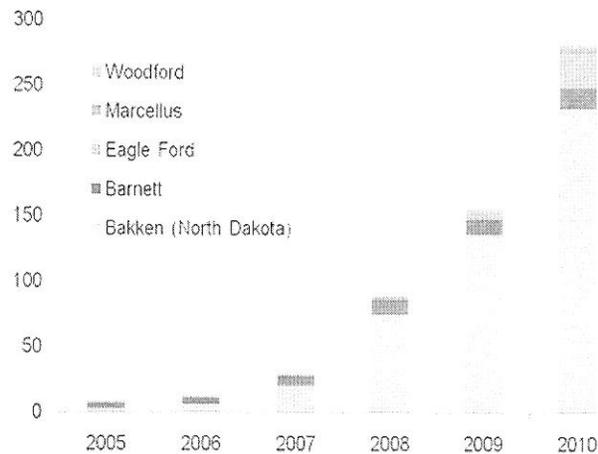


Fig. 3. Crecimiento del Producto Doméstico Bruto (GDP) y millas recorridas por vehículo VMT en los EEUU. Obtenido de [10].

- Aumento importante de producción de gas y petróleo masivo sobre todo en las formaciones geológicas de Eagle Ford, Marcellus y Barnett y otras regiones de los EEUU ^[11], ver Fig.4.

Figure 2. Oil production from shale formations (thousand barrels per day)



Source: HFDI, LLC

Fig. 4. Producción histórica de petróleo en miles de barriles diarios, usando fracturación hidráulica en los EEUU. Extraído de [11].

○ Aumento potencial en la producción de crudo en aguas profundas en el Golfo de México.

Con respecto a Canadá, gracias a la explotación de yacimientos de arenas bitumínicas en Alberta, se ha convertido en el 1er exportador de petróleo a los EEUU con 2,670 miles de barriles diarios en el 2011. Durante los últimos años México ha disminuido su participación en este mercado, y del 2do ha pasado al 3er lugar, después de Canadá y Arabia Saudita, exportando 1,218 miles de barriles diarios en el 2011 ^[12].

Es importante señalar que quedan dudas de cual será el precio ecológico y en salud humana que los EEUU y Canadá habrán de pagar, tanto a nivel local como regional, por estos tipos de explotación. Estos se aplicaron antes de conocer científicamente sus impactos, tanto en la emisión de gases tóxicos como el benceno, gases de efecto invernadero como el metano, pero especialmente en cuanto a la contaminación de mantos freáticos. Apenas en abril 18, del 2012, EPA anunció normas de emisión a la atmósfera para pozos que utilizan fracturación hidráulica. En Mayo del 2012 se publica Seven Golden Rules, ^[13] (Siete Reglas de Oro), donde se presentan las condiciones bajo las cuales se puede regular a la industria petrolera para aminorar el efecto

ambiental por la extracción de gas y petróleo a partir de esquistos usando fracturación hidráulica.

Otra cuestión crítica que queda pendiente, es la incertidumbre acerca de la durabilidad y explotabilidad que tienen los yacimientos de esquistos. También son importantes los costos de infraestructura para el transporte de petróleo a partir de esquistos que actualmente se basa mayormente en transporte terrestre. Por ejemplo: no existen gasoductos que conecten los yacimientos de Bakken en Dakota del Norte con la Costa Este de los EEUU, por lo que el transporte se realiza en tren y luego en barcas en Albany, en Nueva York.

A pesar de los problemas descritos arriba, las nuevas fuentes de energía fósil así como su potencial, han relegado parcialmente el interés por el desarrollo de fuentes de energías renovables como la solar, eólica y de biocombustibles en varias partes del mundo, especialmente en los EEUU y Canadá. Sin embargo, la producción de energías renovables en los EEUU sigue un camino en ascenso aunque incierto: En el 2010, la producción de biocombustibles fue 8 veces mayor que en el 2000 y la energía eólica fue 16 veces mayor que en el 2000 ^[14], ver Fig. 6. No obstante, a partir de este año (2012), habrá que observarse su desenvolvimiento ante la competencia de las nuevas fuentes de energía fósil. Aún así, los EEUU han logrado diversificar modestamente su matriz de energía primaria incorporando fuentes renovables en forma limitada. Estos producen alrededor del 8% del total de energía primaria en 2010, del cual el 20% son biocombustibles.

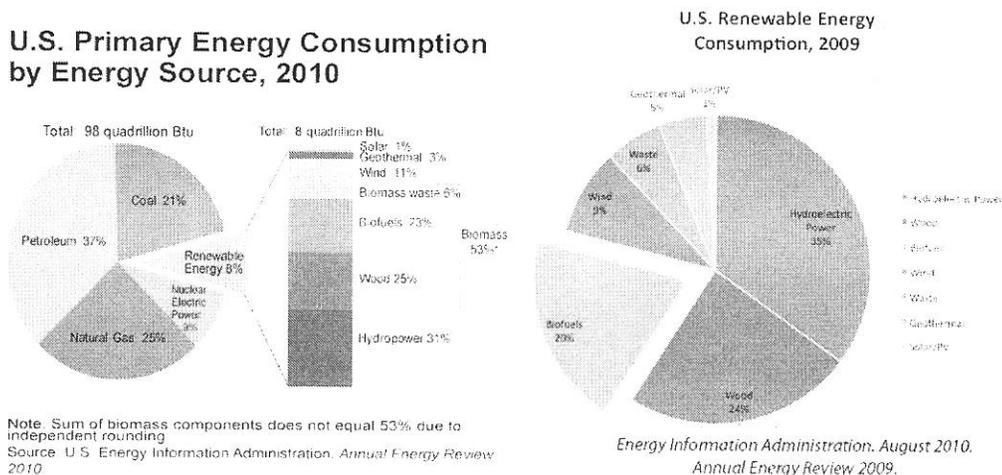


Fig.6. A la izquierda, consumo de energía primaria en los EEUU. A la derecha, desglose del sector de energías renovables.

La situación energética en México.

A pesar de contar con reservas de gas y petróleo en aguas profundas y de amplios yacimientos de esquistos, la situación energética de México avanza en sentido contrario: La producción de petróleo se desliza y la de gas no se incrementa sustancialmente^[15], ver Fig.7a. Al mismo tiempo la demanda se incrementa, ver fig.7b. Con respecto al gas se tienen problemas de distribución que han generado racionamientos programados ante la protesta de la industria privada que son de dominio público.

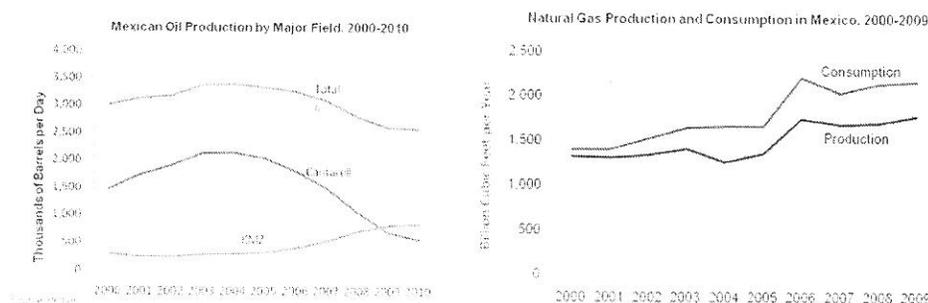


Fig.7. En (a), producción de petróleo en México. En (b), producción y consumo de gas natural en México.

Algunos expertos señalan que la merma en la producción se debe al atraso tecnológico de PEMEX para explotar mantos en aguas profundas y en el uso de técnicas de fracturación hidráulica y perforación horizontal de pozos. Otros, como el experto independiente Georges Baker, señalan que el problema “no es cuestión de geología, ni de tecnología, ni de capital, sino del marco jurídico”^[16, 17]. Entre otras causas éste experto señala que PEMEX no tiene una organización interna que la haga competitiva ya que “PEMEX paga impuestos sobre ingresos brutos y no en ganancias... La gerencia de PEMEX no tiene facultades para contratar o despedir ejecutivos, quienes son nombrados por amigos en la oficina del Presidente... La estructura de PEMEX consistente en cuatro unidades de operación, carecen de coordinación...”.

Por otra parte, PEMEX tiene un pasivo laboral, que continúa creciendo, y que es mayor que sus activos. Al cierre de 2011, Petróleos Mexicanos encaraba un pasivo laboral de 354 mil 989.9 millones de pesos^[18].

Independientemente de las causas, existe una diferencia en dos órdenes de magnitud entre el número de pozos y nivel de explotación de campos gasíferos de esquistos en la frontera de Texas y México, a pesar de estar localizados en la misma cuenca geológica. En cuanto a explotación en aguas profundas del Golfo de México, PEMEX está a la expectativa de los resultados de los pozos Trión y Supremus.

En cuanto al uso de energéticos en México, los hidrocarburos representaron la principal fuente de energía primaria: en 2006, 89.9% de la energía producida en el país provino de esta fuente. Después del petróleo, el gas y la hidroenergía, la leña es la cuarta fuente más importante de energía primaria en México: representó 2.3% del total en 2006. El sector transporte, consume el 49% de la energía del país ^[19].

Importancia de los combustibles minerales líquidos y gaseosos en México.

En México, los combustibles fósiles líquidos no solo son los responsables de proveer 100% de la energía a la flota vehicular que traslada bienes y pasajeros, sino que también con ellos se generan más del 75% de la energía eléctrica ^[19]. Con respecto a energías renovables, México planea surtir el 7.5% de energía primaria principalmente con energía geotérmica y eólica para el 2012. Sin embargo, el papel que juegan los biocombustibles es casi nulo.

Con relación a la agricultura, los hidrocarburos minerales como el gas natural son esenciales para la producción de abonos químicos basados en amoníaco mediante la reacción de Haber-Bosch. Esto es indispensable para mantener niveles altos de producción agrícola moderna y, tan solo esta reacción química, demanda entre el 3 y 5% de la producción mundial de gas natural ^[20]. Además, con los hidrocarburos minerales se alimentan las bombas de agua para los sistemas de riego, los transportes que distribuyen al mercado los productos agrícolas para consumo humano, para el sector agropecuario y proveen de energía a muchas plantas agroindustriales. La escasez o aumento de precio de los hidrocarburos, repercutirían en el precio de los productos agrícolas y disminuiría su oferta alimentaria. En parte tomando en cuenta esta situación, en el año 2011 el subsidio en México a las gasolinas y diesel ascendió a 289,562 millones de pesos, compitiendo severamente con

programas sociales como, por ejemplo, el Seguro Popular que tiene un presupuesto de 65, 652 millones de pesos.

Lo anterior señala que en México existe potencialmente un problema de energía con grandes repercusiones. Mientras otros países avanzan en la producción energética fósil y renovable, México es de los pocos países petroleros que se encamina a una crisis de producción y distribución de combustibles líquidos. Ante esta situación que atañe tanto a la organización política, social y económica del país, ¿Qué oportunidades existen para alargar la disponibilidad de hidrocarburos minerales? ¿Debemos ceñirnos a la esperanza del petróleo en aguas profundas? ¿Qué papel pueden jugar los biocombustibles ante esta situación? ¿Pueden éstos jugar un papel en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero? Para contestar estas preguntas se requiere sumar esfuerzos de especialistas en diversas áreas desde las ciencias e ingenierías, así como las disciplinas sociales. El sector académico debe de jugar un papel preponderante y útil en esta discusión.

Contexto de las energías renovables

Aunque existen propuestas como en [21], aun no existen metodologías integrales aceptadas que tomen en cuenta los factores socioeconómicos, ecológicos y energéticos para evaluar las energías renovables incluyendo a los biocombustibles ^[22, 23, 24]. Aun se carecen de un conjunto de indicadores objetivos con baja incertidumbre con los que se puedan evaluar el papel de las energías renovables y sus efectos socioeconómicos y ecológicos en conjunto. Por ahora solamente se pueden hacer estudios multidisciplinarios al respecto. En casos específicos existen metodologías, la mayoría no exentas de gran incertidumbre, para delimitar teóricamente alguna opción en cuanto a balances termodinámicos y de uso de recursos como el agua y suelos.

Aún así, revisando la literatura de energía y cambio climático, se puede concluir que a nivel mundial no existen soluciones definitivas ni a corto ni a mediano plazo para resolver los problemas de emisiones de GEI's ni sustituir el uso de combustibles péticos. Es mas, tampoco estas soluciones parciales están libres de tener efectos perniciosos. Sobre estos temas se recomienda [25]. Tan solo se pueden proponer soluciones que al sumarse, tengan

resultados significativos mayormente favorables y aceptar una componente importante de incertidumbre. Es en este contexto en el que se sitúan los biocombustibles a nivel mundial. Esto es también cierto a nivel nacional.

Como lo sugiere el párrafo citando a la IPCC en la introducción, una posible vía para ampliar la matriz de energía en México es hurgar en las potencialidades regionales del país, considerando sus límites ecológicos y sociales. Esto incluye energía hidráulica, geotérmica, solar, maremotriz, eólica y, en cuanto a combustibles líquidos indispensables en el transporte y generación de electricidad por mucho tiempo, de biocombustibles como el etanol a partir de la caña de azúcar. Lo anterior no es suficiente si no se conjunta con el uso más eficiente de energía a través de mejoras tecnológicas en transporte, en transporte público, desarrollo urbano, iluminación urbana y residencial, edificaciones, etc., y solo así buscar un efecto acumulado para controlar las emisiones de GEI's, y ahorrar significativamente el uso combustibles péticos. Aunque se necesita evaluar formalmente, algo que resulta no trivial y lleno de incertidumbres metodológicas, ésta propuesta sitúa el contexto de las energías renovables y podría incurrir positivamente en el desarrollo económico nacional por los siguientes motivos:

1. Si consideramos que los precios del petróleo se incrementarán en el tiempo, cada barril de petróleo ahorrado hoy, se venderá mas caro mañana, redituando en más capital para PEMEX.
2. El ahorro y uso de renovables a corto y mediano plazo concederá un poco mas de tiempo a PEMEX para desarrollar proyectos de extracción en yacimientos en aguas profundas y de esquistos si así lo decide.
3. Evitar la construcción de algunas termoeléctricas e hidroeléctricas.
4. Capitalizar industrias agrícolas como ingenios azucareros.
5. En el caso de etanol y biodiesel sustituir parcialmente las importaciones de gasolina, diesel y aditivo MTBE.
6. Reducir el gasto en energía de la población, liberando capital para otras actividades y servicios.
7. Inversión en tecnologías que ahorren el gasto de energía, incluyendo generación de conocimiento aplicado (*know how*).

8. Inversión en el capital de energías renovables en México, incluyendo generación de conocimiento aplicado.
9. Como se mencionó anteriormente, la agricultura moderna depende en gran parte de los hidrocarburos. Ampliar su vida implica poder hacer uso de este recurso por más tiempo para la producción agrícola.

Algunos de estos aspectos se pueden constatar con la experiencia ya observada en otros países, al igual que sus correspondientes limitaciones, problemas e incertidumbre. Por ejemplo, debido al ahorro de combustible en la flota vehicular por la introducción de nuevas tecnologías y la oferta de etanol, la exportación monetariamente más importante de los EEUU se ha convertido en la gasolina, diesel y turbosina, sobrepasando a las manufacturas ^[26]. Esto no sucedía desde 1949. Oculto en esta afirmación están entre otros, los problemas ambientales como el aumento en la contaminación de aguas en el Golfo de México por el uso de abono químicos para la siembra de maíz para etanol ^[27], y que el porcentaje de ahorro de emisiones de GEI's con respecto a combustibles péticos por la fabricación de etanol a base de maíz que, aunque favorable, solo oscila entre 10 y 17%, con respecto la gasolina por unidad de energía. También no hay que perder de vista que los EEUU siguen siendo el mayor importador de petróleo en el mundo.

Etanol a partir de caña de azúcar en México

Entre las ventajas que tiene el etanol a partir de caña de azúcar tenemos que la producción por área de cultivo (litros/ Ha) es del doble que para el maíz y la tasa de retorno energético (ERoEI), o sea la razón entre la energía usable y la utilizada (no renovable) para su fabricación es de 5, mientras que para el maíz es de 1.3. Esto se muestra en la Fig.8, donde también se puede apreciar el ERoEI de otros combustibles, desde el punto de vista de los EEUU. Destaca el hecho de que el etanol a partir de azúcar, aún sin considerar su potencial de exportar electricidad, tiene el más alto ERoEI entre biocombustibles como el biodiesel y el etanol a partir del maíz.

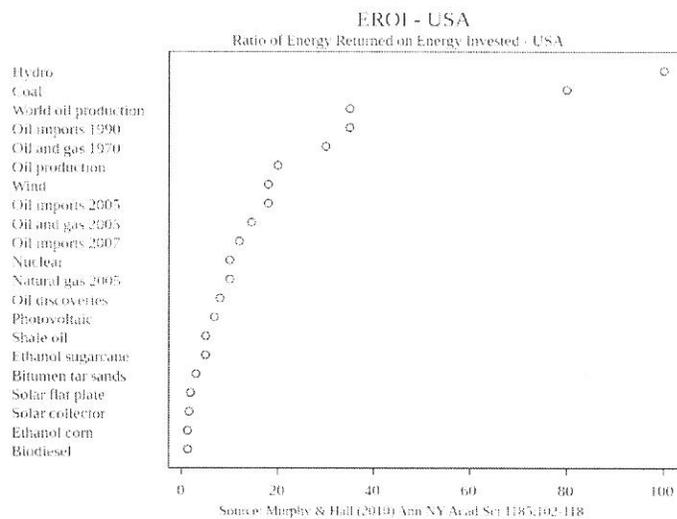


Fig.8. Tasa de retorno energético (ERoEI), extraído de la Tabla 2 en [28].

Actualmente el azúcar es una de las exportaciones agrícolas de México. Para la zafra 2010/2011 se exportaron cinco millones 183 mil 500 toneladas, un aumento sustancial con respecto a la zafra de ciclo 2009/2010, cuando se exportaron cuatro millones 825 mil 539 toneladas, [29]. Sin embargo en México la producción de etanol es casi nula. Esto a pesar de existir desde Febrero del 2008, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Según ésta, hoy en día las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Ciudad de México ya deberían de estar usando gasolina con 6% en volumen de Etanol, ó E6.

A diferencia de otras industrias de transformación vegetal como del maíz, los ingenios de azúcar pueden satisfacer la demanda energética propia y exportar electricidad usando el bagazo como fuente renovable. Esto se puede lograr mediante un ciclo combinado, donde el bagazo se usa para obtener, en una caldera moderna, vapor a 525 °C a 82 bares de presión. Con esto se logra una eficiencia energética para producir electricidad del 55%, similar a las mejores plantas termoeléctricas. Esto tiene importancia local, ya que un ingenio podría estar satisfaciendo eficiente y económicamente la demanda eléctrica de poblaciones aledañas. Si esta experiencia se repite en varios ingenios, se incidiría en la producción eléctrica a nivel regional. Además, una ventaja de generar electricidad en un ingenio es su aspecto descentralizado. Esto significa que la generación de electricidad forma parte de la comunidad, con una administración local, favoreciendo la disciplina y eficiencia.

Un ejemplo de esta experiencia que puede servir como prueba heurística y sugerir una práctica similar a nivel regional en México, es la de la Isla de Mauritius (Mauricio) con población de 1.2 millones, ver Capítulo 4 en [30]. Gracias al uso eficiente del bagazo, en Mauricio se muestra que regionalmente se puede generar 16% de la energía eléctrica en un país de ingresos medio-alto comparable con México (ingreso medio per capita de US\$8,230 en 2011, [31]).

En Brasil, a nivel nacional el bagazo es responsable del 3% de la generación de electricidad a nivel nacional. Se tienen planes para acrecentar esta producción ya que tan solo 20% de sus ingenios exportan electricidad, [32]. Brasil tiene una capacidad instalada de 4,496 MW a partir del bagazo de caña, que según los planes deberá llegar a 9,163 MW para el 2020. Para comparación, la capacidad instalada de la presa de Itaipú en Iguazú Brasil, es de 14 MW, una de las mayores en el mundo.

Aunque en México se tienen programas al respecto, el bagazo de caña es tan solo la segunda fuente de bioenergía. Como se mencionó, la principal es la leña. Se estima que se aprovechan 98 PJ de bagazo al año, equivalentes al 1.33% de la oferta interna bruta de energía, [19]. En el sector agroindustrial de la caña de azúcar, la SENER ha calculado que con la producción actual de azúcar el potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña es superior a 3.000.000MWh/año. Esto tiene importancia a nivel regional ya que comparativamente podría generarse aproximadamente el 20% del máximo de MWh/año del complejo de Tula con capacidad instalada de 1,600MW.

En cuánto a la producción de etanol en México, dos compañías fueron elegidas para proveer etanol a partir de azúcar a PEMEX como resultado de su más reciente licitación que se dio a conocer en Febrero 2012. Las compañías adjudicadas fueron Destilmex capaz de producir 11 millones de litros al año en Chiapas, y Alcoholera Zapopan con ingenios en Veracruz, y capacidad de producción de 7 millones de litros anuales. Las áreas que cubrirían la demanda serían Chiapas y Oaxaca para gasolina E6. Sin embargo estas compañías decidieron retirarse debido al precio de compra ofrecido por PEMEX. Éste se estableció mediante una fórmula que da por resultado 9.70 pesos por litro (Abril 2012). Los productores solicitaban un subsidio para obtener 14 pesos por litro para que esto les sea rentable. En abril del 2012, el precio en los

EEUU oscilaba alrededor de los 7.8 pesos por litro, ^[33]. En Brasil, el precio era de 10 pesos/litro, debido a un aumento de 40% con respecto al año pasado. Esto se debe a una baja de producción por falta de lluvias en las regiones productoras y mayor demanda, mostrando los vaivenes de producción de etanol por cuestiones climáticas. Sin embargo, aún bajo condiciones adversas, el precio del etanol brasileño es menor que el ofrecido por el sector azucarero de México, poniendo de manifiesto su falta de competitividad.

En [34], García y Manzini hacen un estudio de factibilidad ambiental y económica acerca de la fabricación y uso de etanol en México. El escenario que ahí se maneja es que el etanol reemplace un promedio de 4.9% la energía demandada por el sector transporte durante el periodo del 2010 al 2030. Durante este escenario se llegaría a un máximo de 7.7% de sustitución de energía demandada para el 2030. Si bien, se obtiene un ahorro de 30% de emisiones de GEI's por GJ con respecto al caso base usando gasolina, como se trata de una sustitución parcial en porcentaje de la energía total, se reducen en total las emisiones de GEI's el 1.3% para el 2030 a nivel nacional. Esto es tomando en cuenta el cambio de uso de suelo necesario para lograr el escenario y sin competir con la producción agrícola alimentaria.

Cabe mencionar que este estudio muestra que se crean fuentes de trabajo en el sector agrícola. Sin embargo el uso de agua crece casi 29 veces, indicando que se debe localizar zonas con disponibilidad de agua para construir las plantas de etanol. Esto puede ser un factor limitante.

Otro aspecto importante es que en estudios hechos a nivel mundial y en la ciudad de México, las emisiones a la atmósfera por el uso de E6 en vehículos de tecnología actual (inyección y filtro catalítico de 3 vías), resultan en reducción de la contaminación urbana, ^[35]. Falta estudiar el efecto de esta mezcla en la vida de los filtros catalíticos en México.

Un factor muy importante que la industria azucarera debe de tomar en cuenta, es que existe una tendencia en salud pública en los EEUU (mayor importador de azúcar mexicana) para limitar el consumo de refrescos embotellados endulzados. Esto se está dando en la Ciudad de Nueva York y otras ciudades americanas, preocupadas por la obesidad en su población, ^[36, 37, 38]. Si con el tiempo esta tendencia se impone, conviene a los ingenios

mexicanos diversificar desde ahora su oferta de productos. La generación de electricidad y la producción de etanol podrían formar parte de esta estrategia.

Conclusiones

Las fuentes de energía fósil no convencionales representan un nuevo competidor para las renovables incluyendo los biocombustibles. Una cuestión crítica es la incertidumbre acerca de la durabilidad y explotabilidad que tienen los yacimientos de esquistos.

Las energías renovables solo serán efectivas si forman parte de un portafolio de medidas que van desde la producción hasta el uso energético. Todo este trayecto incluye fenómenos sociales que pueden potenciar o debilitar su impacto. Este conjunto de acciones tendrán posibilidad de éxito en la medida que, comparativamente con otras fuentes, representen disminución en el uso de fuentes no renovables, emisiones de GEI's y mejoramiento de la salud pública, ayudando en el desarrollo social y económico de una región del país. También, estas acciones son conducentes al desarrollo y creación de tecnología aplicada en el país.

Para disminuir su dependencia y hacer mejor uso de sus hidrocarburos pétreos, México debe buscar diversificar su matriz de energía primaria. El etanol a partir de caña de azúcar, en forma parcial, ofrece esta posibilidad generando combustibles líquidos y electricidad. La caña de azúcar tiene ventajas sobre los otros bio-combustibles ya que los ingenios pueden ser exportadores de electricidad haciendo que el etanol de caña de azúcar tenga una mayor tasa de retorno energético con respecto a todos los otros biocombustibles. Como se mostró, la tecnología está disponible.

A nivel regional puede ser un factor positivo energética y económicamente, aunque la disponibilidad de agua puede ser un factor limitante. Basado en esto, estudios deben de encaminarse para determinar las regiones donde explotar el etanol tomando en cuenta clima, disponibilidad de agua y suelos.

Para no competir con la producción agrícola alimentaria en México, se trata de sustituir gradualmente y tan solo en un porcentaje de no más del 7% a los combustibles líquidos fósiles. El ahorro en uso de energía no-renovable puede ser modesto pero significativo. Estos efectos se pueden potenciar si

forman parte de un portafolio de medidas que integren una estrategia energética.

A la industria azucarera le conviene diversificar sus productos, ya que existe una tendencia a limitar el consumo de azúcar en los mercados más importantes. La fabricación de etanol y la cogeneración de electricidad van en este sentido.

Referencias:

- [1] International Energy Outlook 2011, DOE/EIA 0484(2011), September 2011.
- [2] www.thinkdefence.co.uk
- [3] IPCC, Informe especial del IPCC sobre energías renovables y mitigación del cambio climático, 2012.
- [4] U.S. Energy Information Agency, World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States, Abril 2011.
- [5] USA Census bureau, exports. Actualizado hasta mayo 2012.
- [6] NYMEX, www.tradingeconomics.com, consultado mayo 2012.
- [7] DOW JONES NEWSWIRES, Raymond James Projects US Energy Independence As Early As 2020, Published: Apr 02, 2012, by Angel Gonzalez, <http://www.firstenergycastfinancial.com/news/story/47881-raymond-james-projects-us-energy-independence-early-2020>, consultado mayo 2012.
- [8] Secretaría de Energía (SENER). (2009). Balance Nacional de Energía, http://www.sener.gob.mx/res/1791/Balance_Nacional_2009.pdf.
- [9] National Highway Traffic Safety Administration 2017-2025 Model Year Light-Duty Vehicle GHG Emissions and CAFE Standards: Supplemental, http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/cape/2017-2025_CAFE-GHG_Supplemental_NOI07292011.pdf. Accesado abril 2012)
- [10] Smart Growth, Climate Change and Prosperity January 2011 Center for Clean Air Policy, Chuck Kooshian Steve Winkelman
- [11] Extraído de EIA, This Week in Petroleum, Apr 27, 2011.

[12]

ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/data_publications/company_level_imports/current/import.html).

[13] <http://www.worldenergyoutlook.org/goldenrules/#d.en.27023>

[14] <http://www.glbrc.org/>, energy statistics. Accesado, abril 2012.

[15] Mexico Energy Data, Statistics and Analysis - Oil, Gas, Electricity, Coal
www.eia.gov/cabs/Mexico/Full.html

[16] George Baker consultor independiente, Director de Mexico Energy Intelligence Houston, Texas, citado en Reforma, Negocios p. 10, abril 9, 2012.

[17] George Baker, PEMEX at the End of the 20th Century,
www.ccgsystems.com, ebookbrowse.com/george-baker-ppt-d152265642.

[18] Informe Anual Sobre la Situación Operativa, Programática y Financiera de PEMEX, 2011.

[19] Secretaría de Energía (SENER). (2009). Balance Nacional de Energía, http://www.sener.gob.mx/res/1791/Balance_Nacional_2009.pdf.

[20] Fertilizer Industry: Processes, Pollution Control and Energy Conservation, Marshall Sittig (1979), Noyes Data Corp., N.J. ISBN 0-8155-0734-8).

[21] Multiscale integrated análisis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and Basic rationale Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jesús Ramos-Martin, Energy 34(2009)313–322.

[22] Promise and problems of emergy analysis, Jorge L. Hau, Bhavik R. Bakshi, Ecological Modelling, 178 (2004) 215–225.

[23] On the Second-Law inconsistency of Emergy Análisis, Enrico Sciubba, Energy 35 (2010) 3696-3706).

[24] Energy analysis and EMERGY analysis—a comparison, Robert A. Herendeen, Ecological Modelling 178 (2004) 227–237.

[25] The Climate Fix, Roger Pieleke, Jr., Basic Books, 2010, ISBN978-0-465-02519-0.

[26] US Census Bureau Exports.

[27] http://www.ucsusa.org/assets/documents/clean_energy/ew3/corn-ethanol-and-water-quality.pdf.

[28] Murphy, D. J. and Hall, C. A. S. (2010), Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185: 102–118. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.05282

[29]

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2011B553.aspx>

[30] Sustainability of the Sugar and Sugar-Ethano Industries, Editor Gillian Eggleston, ACS Symposium Series 1058, American Chemical Society, Washington, DC, ISBN 978-0-841-2598-5, 2010.

[31] Country and Lending Groups - Upper-middle-income economies". World Bank. Retrieved 8 June 2012.

[32] Ten Year Plan for Expansion of Energy Research Company (EPE)

[33] Wolfram/Alpha Database accedido abril 6, 2012.

[34] Carlos A. Garcia, Fabio Manzini, Environmental and economic feasibility of sugarcane ethanol for the Mexican transport sector, *Solar Energy*, 86 (2012), pp. 1063–1069.

[35] Jazcilevich, D., Arón Emisiones de Partículas y Aerosoles, gases de Efecto Invernadero, Tóxicos y Criterio por uso de bio- Combustibles en el Sector Transporte, Informe Final al ICYT-GDF. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera. Enero 20, 2012.

[36] <http://www.nytimes.com/2012/05/31/nyregion/bloomberg-plans-a-ban-on-large-sugared-drinks.html?pagewanted=all>

[37] Rachel K. Johnson, Lawrence J. Appel, Michael Brands, Barbara V. Howard, Michael Lefevre, Robert H. Lustig, Frank Sacks, Lyn M. Steffen, Judith Wylie-Rosett, Dietary Sugars Intake and Cardiovascular Health, A Scientific Statement From the American Heart Association, Physical Activity, and Metabolism and the Council on Epidemiology and Prevention, Septiembre 11, 2012.

[38] Reversing the Epidemic: The New York City Obesity Task Force Plan to Prevent and Control Obesity, Mayo 31, 2012