



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE OPCIONES DE SUSTITUCIÓN DE  
MTBE EN GASOLINAS MEXICANAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
I N G E N I E R O Q U Í M I C O

P R E S E N T A

CARLOS ALBERTO MACÍAS OBREGÓN



MÉXICO, D.F.

2008



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.

### **Jurado Asignado:**

Presidente	Prof. Eduardo Rojo y de Regil
Vocal	Prof. José María García Saiz
Secretario	Prof. Eduardo Guillermo Marambio Dennett
1er. Sup.	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
2do. Sup.	Prof. José Fernando Barragán Aroche

### **Sitio donde se desarrolló el tema:**

**UNAM**

BIBLIOTECAS FACULTAD DE QUÍMICA, PEMEX, IMP

### **Asesor de Tesis**

---

**M. en C. Eduardo Guillermo Marambio Dennett**

### **Sustentante**

---

**Carlos Alberto Macías Obregón**

## DEDICATORIA

---

**Esta tesis es el resultado de haber andado un largo camino, basado en creer, tener confianza y estar seguro de poder alcanzar una meta, no importando las dificultades que pudiera encontrar en el camino, siempre caminando hacia delante, con pasos firmes. Así que le dedico este trabajo a aquellas personas que jamás dudaron que este día llegaría y siempre confiaron en que la meta sería alcanzada.**

*“No tienes tiempo, pero te rodea la eternidad”  
Don Juan Matus*

## AGRADECIMIENTOS

---

Este trabajo pone fin al primer capítulo de mi vida que comenzó hace algunos años cuando inició esta aventura en el aprendizaje; en este viaje conocí a muchas personas, algunas agradables, otras no tanto, pero de todas he aprendido algo, poco o mucho... ¿quién soy para determinarlo?

Quizá el primer agradecimiento deba ser a la vida misma y al mundo que me vio nacer, sin eso no estaría aquí. En seguida a todos aquellos que influenciaron mi educación, gracias a todos ellos, porque sin ustedes yo no sería como me conocen. Debido a lo que he vivido y aprendido en los años que abarcan el primer capítulo de mi vida y para hacer honor a una educación científica que me brindo esta mi casa, la "facultad de química", debo decir que compruebo en mí la segunda ley de Newton ("a toda acción corresponde una reacción de igual magnitud pero de sentido contrario"), en otras palabras causa y efecto (soy la consecuencia de mi educación).

Enseguida debería, según es correcto, agradecer a quienes hicieron posible que llegara este día, con su esfuerzo y dedicación me instaron siempre a seguir adelante, a jamás rendirme en el intento, a nunca voltear atrás, claro como deben sospechar éstos solamente podrían ser... mis padres, quienes siempre estuvieron al tanto de mis problemas y preocupaciones para confortarme y darme un buen consejo, para alentarme con sabias palabras, quienes nunca dejaron de confiar en que verían llegar este día, son ellos quienes me mostraron la importancia de la unión familiar y cómo esta es nuestro principal apoyo en tiempos de crisis ("debemos creer en nuestra familia"), pues son los únicos con quienes siempre podré contar incondicionalmente.

No crean que esto termina aquí, existen muchas personas aun a quienes les debo mi gratitud: a mi abuelita Martha y a mi Tía Socorro, ellas fueron quienes en tiempos de crisis familiar cuando las fuerzas menguaban y parecía no haber esperanza estuvieron a nuestro lado, hombro con hombro para enfrentar la tempestad, fueron ellas quienes con sus actos me dijeron "No te preocupes, todo va a salir bien"; el apoyo que recibí de ellas y la enseñanza que me dejaron trasciende más de lo que puedan decir las palabras. Lo único que puedo decirles es que un pedacito de esto es de ustedes, gracias.

Continuando con la familia, no puedo dejar de nombrar a mis hermanos, comenzando por el mayor: Cacho en quien siempre he tenido un apoyo incondicional y un alguien con quien hablar, no importando la situación sé que puedo contar con él. Julián quien ha sido un gran apoyo en los últimos tiempos

y en quien he podido depositar mi confianza, les agradezco a ambos por ser un ejemplo a seguir (cada uno a su modo, claro esta), gracias por mostrarme el camino que han ido construyendo y compartir conmigo sus alegrías y tristezas. Feddy, ¿qué puedo decir? mi hermana, mi cuata y en tiempos difíciles mi amiga, gracias a ti aprendí el valor que se requiere para tomar una decisión (así como su significado intrínseco) y la fuerza necesaria para mantenerse firme en ella. A los tres gracias.

Como en toda historia, hay algunos personajes que se necesitan para darnos cuenta de que hay una vida fuera de los libros, antes de haber terminado de escribir este capítulo de mi vida, tuve la buena fortuna de haber comenzado a escribir el segundo "el trabajo diario", es decir la vida profesional, como siempre sucede uno conoce a muchas personas y así fue que conocí a un ingeniero que decidió, después de haber visto cómo trabajaba (sin que yo me diera cuenta) darme una oportunidad, así que Raúl Pimentel, no puedo omitir el darte las gracias, ya que todos necesitamos de alguien que nos ayude a comenzar cualquier actividad, alguien que crea en nosotros.

No todo acaba como nos gustaría, hay amigos involucrados, algunos que siempre están ahí, aún cuando no te entienden, algunos que no están cerca muy seguido, pero en quienes siempre puedes confiar cuando los necesitas, algunos otros con quienes puedes contar para que te hagan reír, para que te escuchen, para jugar. Así que Pablo, Felipe, Karina, Aspiri, Amilcar, Jimena, Arturo, Carmen, Emmy y los que me faltaron por nombrar, de todos ustedes también he aprendido algo. Gracias por su amistad.

Estamos por cerrar este espacio llamado "agradecimientos" y temo que de seguirme prolongando no terminaré nunca, así que "al mal paso darle prisa y al mal tiempo buena cara", me restan tres personas muy importantes para mí, una de ellas es un Señorón, que tengo el orgullo de que haya sido mi profesor, claro, algunos deben de sospecharlo, otros lo imaginan, pero para quienes no lo saben es la persona a quien elegí para ser mi asesor de tesis, Profesor Eduardo Marambio le agradezco por todas sus enseñanzas, así como por su paciencia, sus consejos y su ayuda. De usted aun hay mucho que aprender y espero que sea parte del segundo capítulo que comencé a escribir, en el cual he recibido su apoyo.

Como lo mencioné, solamente me faltan otras dos y como algunos dicen por ahí, hay que guardar lo mejor para el final, está persona a quien nombro aquí, tuvo una gran influencia en mi persona y me ayudó a ver el mundo de formas totalmente diferentes, a cambiar el enfoque de las cosas, a no juzgar sin razón y a entender que el mundo es como es por un motivo, así es que no puedo dejar de mencionarlo en un trabajo tan importante para mí. Como pueden sospechar hay muchos baches en el camino del conocimiento, algunos

personajes que aparecen en el primer capítulo solamente lo hacen una vez para probar un punto, otros, los más trascendentes perduran siendo participes o simplemente como un recuerdo, como quiera que sea mientras su enseñanza perdura ellos siguen con nosotros "honor a quien honor merece y al Cesar lo que es del Cesar". Gracias por todas sus enseñanzas a mi MAESTRO y AMIGO Cuauhtemoc Díaz.

Ahora si las cuentas no me fallan únicamente me falta agradecer a una personita que es bastante simpática y me hace reír de vez en cuando, que ha sido muy importante a pesar de su tamaño y que seguramente pensó que se me había olvidado mencionarla en este trabajo, ella fue mi brazo derecho para poder concluir este proyecto, ya que con tanto viaje yo no tenia el tiempo para realizar todos los tramites necesarios. Muchas gracias por tu ayuda "Chapis" (Angélica).

Creo que con esto termino, pero si hay alguien de quien haya recibido algún aprendizaje y lo omití, créanme que fue sin querer y aún cuando no mencioné su nombre, le agradezco lo que sea que haya podido aportar a mi formación.

¡¡¡GRACIAS A TODOS!!!

## RESUMEN

---

En este trabajo, se analizan las diferentes opciones para el cambio en la tecnología de gasolinas en México. Esto se traduce en un cambio en el aditivo utilizado actualmente en la gasolina, Metiliterbutileter (MTB) y Metilteramileter (TAME), por otros como el etanol, también conviene situarnos en el marco de la legislación, que si bien en estos momentos no prohíbe el uso de MTBE, se espera que en unos años lo haga, ya que hay evidencias de toxicidad. Por ello, nuestro interés está en saber qué opciones tenemos para seguir produciendo gasolina.

Se sabe que la legislación más rigurosa en esta materia es de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) EPA, así que mucho de lo que se describe y promueve estará basado en esta legislación, ya que se espera después de que ellos la apliquen, la hagan extensiva a otros países como México.

La investigación lleva a introducir algunos datos como antecedentes del problema que representa este importante cambio. Esto implica saber desde cuándo debió hacerse dicho cambio y qué se ha hecho a la fecha. Se toman en consideración datos estadísticos, para saber qué tan viable es el cambio de tecnología, cuánto costaría y cuál sería el impacto.



Se sabe que actualmente la opción más viable para México se inclina por el etanol; sin embargo, no se debe perder de vista que el etanol requerido para la gasolina es al 99.6% de pureza. De esta manera se pretende contrastar los datos obtenidos de la investigación contra los de otros países, de tal forma que nos permita tener un panorama más amplio. Para tal efecto, se debe conocer cuántos ingenios azucareros existen en el país, cuál es su producción anual y el precio del azúcar, cuáles son las cuestiones que nos competen, tales como el precio de producción del etanol, así como su capacidad de producción, precio de venta y pureza; en caso de tener una menor pureza, se debe analizar cuánto cuesta alcanzar la pureza deseada, especificaciones del producto, el impacto a la salud y el medio ambiente.

Se analizan algunas ventajas que se tienen al cambiar el aditivo en la gasolina, así como sus desventajas, de tal manera que es posible explicar porqué ocurrirá este cambio en la tecnología de la gasolina. Cabe aclarar que esta gran transformación terminará por ser global y que hay países que llevan un adelanto increíble en esta materia, no solo en América, sino también en Europa (aun cuando su mayor consumo sea el diesel).

	Página
<b>I. ANTECEDENTES</b>	
<i>I.1 Protocolo de Kyoto</i>	1
<i>I.2 Situación actual del petróleo</i>	17
<i>I.3 Gasolinas mexicanas</i>	19
<i>I.4 Tecnologías opcionales</i>	23
<i>I.5 Información técnica</i>	25
<i>I.6 Dosis de Tumorcación Media (Tumorating Data Media)</i>	27
<b>II. EVALUACIÓN DE OPCIONES PARA MÉXICO</b>	
<i>II.1 Escenarios para la sustitución de MTBE por ETBE en México</i>	30
<i>II.2 Situación actual de la gasolina en México</i>	31
<i>II.3 Análisis del cambio del MTBE por ETBE</i>	33
<i>II.4 Marco legal (legislación y acuerdos)</i>	34
<i>II.5 Demanda de gasolinas y aditivos (MTBE, ETBE y Et-OH)</i>	38
<b>III. OBTENCIÓN DEL ETANOL (Et-OH)</b>	
<i>III.1 Fuentes de obtención de Et-OH</i>	47
<i>III.2 Industria de la caña de azúcar</i>	51
<i>III.3 Proceso de obtención del Et-OH</i>	54
<i>III.4 Ventajas y desventajas</i>	56
<b>IV. INTRODUCCIÓN DEL ETBE EN GASOLINAS MEXICANAS</b>	
<i>IV.1 Características del ETBE</i>	64
<i>IV.2 Características del mercado mexicano</i>	67
<i>IV.3 Requerimiento e inversión</i>	71
<i>IV.4 Discusión actual</i>	80
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	81

**ANEXOS**

1.	Los mayores emisores de GEI en el 2000, MtCO <sub>2e</sub>	84
2.	<i>Conventional Oil Endowment</i>	85
3.	<i>Resource Based Production Forecast</i>	86
4.	Hoja de seguridad MTBE	87
5.	Hoja de seguridad ETBE	93

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	115
---------------------	-----

## I. ANTECEDENTES

---

### *1.1 Protocolo de Kyoto*

En primer lugar, se debe comentar de dónde se origina la idea del cambio de tecnología en los combustibles. Mucho se ha escuchado acerca del Protocolo de Kyoto<sup>1</sup>, pero pocos saben realmente de qué trata, qué describe en detalle y por qué hay voces a favor y en contra. En este capítulo se discutirá un poco acerca del tema, a fin de ubicar a conciencia la importancia de hacer algo con respecto a nuestros combustibles, para lo cual es necesario conocer la situación global y particular de México en la actualidad, detectar qué trabajos se han realizado al respecto y cuáles son las opciones propuestas a nivel mundial, para establecer cuáles de éstas se pueden aplicar a nuestro país y por qué se deben tomar acciones decisivas en esta materia, de manera ágil y oportuna.

Para comenzar, se debe conocer a fondo el mensaje del Protocolo de Kyoto, quiénes son sus actores principales y cuáles son los compromisos adquiridos.

---

<sup>1</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).  
[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)

El Protocolo de Kyoto trata sobre el cambio climático y solicita que los países industrializados reduzcan la producción de gases contaminantes que contribuyen al calentamiento global; cada país adoptó diferentes porcentajes, principal objetivo dentro de este compromiso general. Le es permitido a cada país deducir las emisiones y beneficiarse de los mecanismos flexibles (comercio de emisiones, desarrollo limpio y aplicación conjunta); en conjunto, se debe contabilizar el carbono absorbido por los sumideros, es decir: los bosques, tierras de cultivo, áreas verdes y otros. El acuerdo incluye sanciones para aquéllos que no cumplan con sus objetivos.

El Protocolo de Kyoto no contiene ningún compromiso nuevo para los países en desarrollo más allá de los alcanzados en la Convención de la ONU sobre el Clima, celebrada en 1992, ya que se acordó que los países industrializados, como emisores principales de los gases que causan el calentamiento del globo, deberían ser los primeros en adoptar medidas para controlar las emisiones peligrosas.

Los requerimientos principales para la aprobación del Protocolo de Kyoto fueron:

- Primero, para que este acuerdo entrara en vigor, debería ser ratificado al menos por 55 países participantes en el Convenio.
- Segundo, se deben incluir a los países industrializados que, sumados tengan al menos 55% de las emisiones totales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Lo expresado anteriormente, implica la reducción de los Gases Efecto Invernadero (GEI), como se mencionan a continuación:

**Tabla 1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

Gas	Fuente	Potencial de Calentamiento
Bióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo y gas), producción de cemento y cambio de uso de suelo.	1
Metano, CH <sub>4</sub>	Descomposición anaerobia (Cultivo de arroz, rellenos sanitarios y estiércol), minas y pozos petroleros	21
Óxido nitroso, N <sub>2</sub> O	Producción de fertilizantes, quema de combustibles fósiles (motores).	310
Hidrofluorcarbonos, HFCs	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	140-11,700
Perfluorcarbonos, PFCs	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	6,500-9,200
Hexafluoruro de azufre, SF <sub>6</sub>	Emitidos en procesos de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico.	23,900

UNFCCC. [http://unfccc.int/ghg\\_emissions\\_data/items/3800.php](http://unfccc.int/ghg_emissions_data/items/3800.php)

¿Por qué reducir la emisión de los gases invernadero a la atmósfera?

Principalmente porque el uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y del transporte, ha producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero.

Estos cambios causan un paulatino incremento de la temperatura terrestre, el llamado cambio climático o calentamiento global. Esta variación de la temperatura global y de la concentración de dióxido de carbono presente en el aire en los últimos 1000 años, es el origen de otros problemas ambientales como son:

- Desertificación y sequías, que causan hambrunas
- Deforestación, que aumenta aún más el cambio climático

- Inundaciones
- Fusión de los cascos polares y otros glaciares, que causa un ascenso del nivel del mar, sumergiendo ciudades costeras. Es únicamente hielo apoyado en suelo firme, ya que el semisumergido en el mar no aumenta el volumen de agua.
- Destrucción de ecosistemas

Ahora bien, para la reducción de emisión de los gases invernadero se proponen algunas opciones:

#### 1) Mecanismos flexibles

*a) Comercio de emisiones:* Compra y venta de permisos de contaminación a otros países (bonos de carbono).

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o GEI.

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la contaminación generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a contaminar al emitir una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases contaminantes, beneficiando a las empresas que no contaminan o disminuyen la contaminación y haciendo pagar a las que contaminan más de lo permitido.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera y puede ser vendido en el mercado de carbono a otros países (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del Protocolo de Kyoto).

*b) Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL):* Proyectos en países en vías de desarrollo.

*c) Aplicación conjunta:* Proyectos en países industrializados. Los tipos de proyecto que se pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, forestación, limpieza de lagos y ríos.

En un esfuerzo por reducir las emisiones que provocan el cambio climático en el planeta, como el calentamiento global o efecto invernadero, los principales países industrializados -menos Estados Unidos y Australia- han establecido un acuerdo que establece metas cuantificadas de reducción de GEI para el 2012: el Protocolo de Kyoto. Para cumplir con los compromisos, se están financiando proyectos de captura o abatimiento de estos gases en países en vías de desarrollo, acreditando tales disminuciones y considerándolas como si hubiesen sido hechas en su territorio.

Al hablar de sumideros, se hace referencia a la absorción de CO<sub>2</sub> del aire en bosques, vegetación, agricultura y tierras de cultivo.

Algunos tipos de proyectos MDL:

1. *Proyectos de energía renovable.* Hidroeléctricos, eólicos, biomasa y solares.



- II. *Proyectos de eficiencia energética y reingeniería de procesos.* Iluminación, potencia, ecotecnologías en vivienda, mejoramiento en plantas generadoras de energía y otros similares.
- III. *Proyectos de cambio de combustible.* Sustitución de gasolina por gas natural y uso de biocombustibles
- IV. *Proyectos de gestión de residuos.* Captura y/o uso de emisiones de metano en rellenos sanitarios y de estiércol en granjas pecuarias.
- V. *Proyectos forestales.* Captura de carbono por forestación y reforestación.
- VI. *Proyectos de transporte.* Nuevas tecnologías y cambio modal.
- VII. *Proyectos de captura y aprovechamiento de emisiones fugitivas.* Utilización del gas grisú de las minas de carbón; captura y utilización de gas natural asociado con la extracción del petróleo.
- VIII. *Proyectos de secuestro de carbono en el subsuelo.* Captura, separación e inyección de CO<sub>2</sub> en el subsuelo
- IX. *Proyectos de captura y destrucción de GEI.* Destrucción de hidrofluorocarbono – 23.

Dentro del Protocolo de Kyoto se tienen algunos acuerdos; entre los más sobresalientes está el Acuerdo de Bonn<sup>2</sup>; este fue un hito político en las negociaciones internacionales. Los ministros de unos 180 países llegaron a un Acuerdo global que incluía normas y procedimientos sobre diversos asuntos de los países en desarrollo (fondos, traspaso de tecnología, capacitación y adaptación a los impactos del cambio climático), más los mecanismos de Kyoto (Comercio de Emisiones, Aplicación Conjunta y Mecanismo de Desarrollo Limpio), los sumideros

---

<sup>2</sup> UNFCCC. <http://unfccc.int/qvquery.html?col=fccc&qt=Bonn>

y el cumplimiento de lo pactado. En su conjunto, el Acuerdo creó la arquitectura fundamental básica para que los países ratificaran y pusieran en práctica el Protocolo, y para que negociaran futuros recortes más estrictos de emisiones.

Entre los puntos principales del Acuerdo de Bonn se incluyen:

- Dar un tratamiento preferente a las energías renovables limpias bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio;
- Pedir a los países industrializados que frenen el fomento de la energía nuclear en los países en desarrollo. De hecho, los gobiernos rechazan a la energía nuclear como modo de frenar la contaminación por carbono;
- Normas factibles para el Comercio de Emisiones;
- Un régimen de cumplimiento que incluya sanciones para aquellos países que no alcancen sus compromisos.

Otro Acuerdo que brota dentro del Protocolo de Kyoto es el Acuerdo de Marrakech<sup>3</sup>, el cual surge para resolver algunos asuntos pendientes en Bonn. El Acuerdo de Marrakech eliminó la barrera final para la ratificación del Protocolo de Kyoto, lo que es especialmente cierto para Japón, Rusia y Canadá, que consiguieron, en un primer momento, imponer sus exigencias como condiciones indispensables para su ratificación.

En 2005 se estableció que el Protocolo requiere que los gobiernos demuestren que están haciendo “progresos demostrables” hacia la consecución de los objetivos de Kyoto.

---

<sup>3</sup> UNFCCC. [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol\\_items/3329.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol_items/3329.php)

De 2008 a 2012 corresponde el "Primer período de compromiso" del Protocolo de Kyoto, en el que las emisiones globales de los países industrializados deben reducirse en un 5% por debajo de los niveles de 1990.

Como es bien sabido, el impacto de los cambios climáticos afectará cada vez más nuestro entorno, por lo cual es imprescindible que cada gobierno tome parte en el asunto.

Los principales países que firmaron el tratado (Protocolo de Kyoto), en orden descendente de emisiones contaminantes, son:

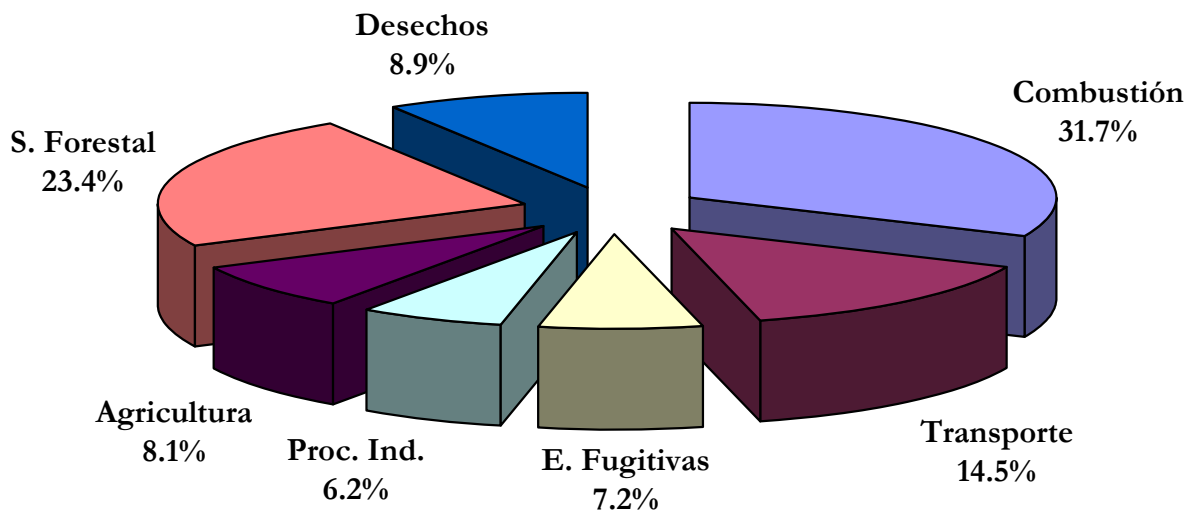
1. La Comunidad Europea (que esta conformada por 15 países Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Finlandia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Portugal, España, Suecia y el Reino Unido)
2. Federación Rusa
3. Japón
4. Canadá
5. Polonia
6. Bulgaria
7. Hungría
8. Eslovaquia
9. Suiza
10. Estonia
11. Noruega

La Unión Europea, como agente especialmente activo en la creación del Protocolo, se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el periodo 2008-2012 en un 8% respecto de las de 1990. No obstante, a cada país se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales según el principio de "reparto de la carga", de manera que dicho reparto se acordó de la siguiente manera:

Unión Europea: Alemania (-21%), Austria (-13%), Bélgica (-7,5%), Dinamarca (-21%), Italia (-6.5%), Luxemburgo (-28%), Países Bajos (-6%), Reino Unido (-12.5%), Finlandia (0%), Francia (0%), España (+15%), Grecia (+25%), Irlanda (+13%), Portugal (+27%) y Suecia (+4%).

Ahora le toca el turno a México y antes que nada se deben plantear los siguientes cuestionamientos: ¿Cuál es la situación actual de México respecto al cambio climático?; La situación actual de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI de México, con respecto a las emisiones de GEI en 1996, medidas en equivalentes de bióxido de carbono, fueron de alrededor de 691.3 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> equivalente, tomando en consideración al bióxido de carbono, al metano y al óxido nitroso. Los principales emisores de gases de efecto invernadero en México son la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo; estos sectores juntos generan cerca del 70% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en nuestro país. En menor medida, otros sectores emisores son la descomposición de los residuos, la agricultura, los procesos industriales y las emisiones fugitivas de la industria del petróleo y gas natural.

**Figura 1. Emisión de GEI por sector**



Secretaría de Energía. (SENER). <http://www.sener.gob.mx>

Las implicaciones que lo anteriormente expuesto tienen en el cambio climático, sugieren básicamente un incremento en la temperatura de la superficie de la tierra (océanos, continentes y aire). Mientras se incrementa la temperatura de la superficie del mar, se propiciará un aumento en el número y la intensidad de los ciclones tropicales<sup>4</sup>. Con respecto a las lluvias, hay diferentes tendencias en varias partes del mundo, con un incremento en latitudes medias y altas en el Hemisferio Norte (particularmente en otoño e invierno) y una disminución en los trópicos y subtropicos, lugar donde se encuentra México. Dado que las sequías están relacionadas con la lluvia, se espera que esto afecte las cosechas en el territorio mexicano<sup>5</sup>.

### ¿Cómo afecta el cambio climático a México?

Del análisis de varios escenarios de los cambios climáticos, se han obtenido resultados que sugieren que el clima de México será más seco y más caliente, y que varias cuencas hidrológicas en la región central del país serán altamente vulnerables a dichos cambios (Figura 2).

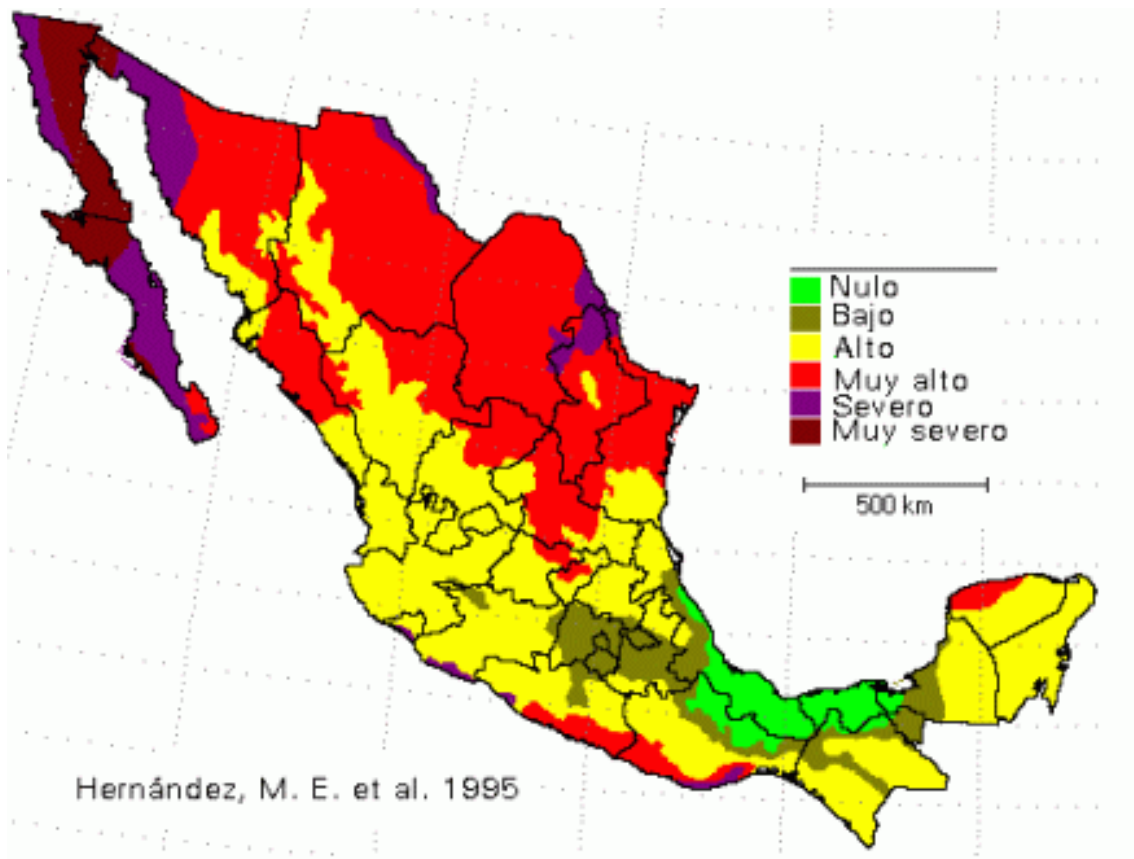
También existe una relación directa entre el aumento de incendios forestales y el cambio climático.

Por un lado, el aumento en las temperaturas globales favorece (en ciertas regiones) las condiciones ambientales bajo las cuales se suscitan los incendios forestales, tales como gran sequía y mayor calor. Por el otro, los incendios forestales liberan hacia la atmósfera el carbono contenido en la vegetación y en los suelos que se queman. Debido a que en muchas ocasiones los incendios forestales consumen vastas extensiones de vegetación, se emiten a la atmósfera grandes volúmenes de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uno de los principales gases de efecto invernadero.

---

<sup>4</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Yoshimura, J., M. Sugi and A. Noda, 1999: *Influence of greenhouse warming on tropical cyclone frequency simulated by a high-resolution AGCM*. Proceedings of the 23rd Conference on Hurricanes and tropical meteorology, 10-15 January 1999, Dallas, American Meteorological Society, 1081–1084.

**Figura 2. Modelo GFDL-R30 Severidad de la sequía meteorológica**



Instituto Nacional de Ecología (INE).  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/32/cap6.html>

¿Está México incluido en el Protocolo de Kyoto?; Sí, México ratificó su participación en 2004 y el Protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de Febrero de 2005.

¿Cuáles fueron los compromisos de México al ratificar y cuales son los avances al 2008? En el artículo 10 del Protocolo de Kyoto se listan los compromisos de todas las Partes de la Convención, incluyendo los correspondientes a los países en desarrollo como México, a continuación se incluyen los compromisos (Tablas 2 y 3).

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Energía (INE). <http://cambioclimatico.ine.gob.mx>

**Tabla 2. Compromisos de la Convención para todas las partes**

Los compromisos que la Convención establece para todas las Partes se enlistan en su artículo 4, numeral 1 y la condición básica para su cumplimiento es el numeral 7:

- 1-a) Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la conferencia de las Partes;
  - 1-b) Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático;
  - 1-c) Promover y apoyar con su cooperación el desarrollo, la aplicación y la difusión, incluida la transferencia, de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en todos los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte, la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos;
  - 1-d) Promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y el reforzamiento, según proceda, de los sumideros<sup>2</sup> y depósitos<sup>3</sup> de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos;
  - 1-e) Cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados e integrados para la ordenación de las zonas costeras, los recursos hídricos y la agricultura, y para la protección y rehabilitación de las zonas, particularmente de África, afectadas por la sequía y la desertificación, así como por las inundaciones;
  - 1-f) Tener en cuenta, en la medida de lo posible, las consideraciones relativas al cambio climático en sus políticas y medidas sociales, económicas y ambientales pertinentes y emplear métodos apropiados, por ejemplo evaluaciones del impacto, formulados y determinados a nivel nacional con miras a reducir al mínimo los efectos adversos en la economía, la salud pública y la calidad del medio ambiente, de los proyectos o medidas emprendidos por las Partes para mitigar el cambio climático o adaptarse a él;
  - 1-g) Promover y apoyar con su cooperación la investigación científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y de otra índole, la observación sistemática y el establecimiento de archivos de datos relativos al sistema climático, con el propósito de facilitar la comprensión de las causas, los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático, y de las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta y de reducir o eliminar los elementos de incertidumbre que aún subsisten al respecto;
  - 1-h) Promover y apoyar con su cooperación el intercambio pleno, abierto y oportuno de la información pertinente de orden científico, tecnológico, técnico, socioeconómico y jurídico sobre el sistema climático y el cambio climático, y sobre las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta;
  - 1-i) Promover y apoyar con su cooperación la educación, la capacitación y la sensibilización del público respecto del cambio climático y estimular la participación más amplia posible en ese proceso, incluida la de las organizaciones no gubernamentales;
  - 1-j) Comunicar a la Conferencia de las Partes la información relativa a la aplicación, de conformidad con el artículo 12 [se refiere a la transmisión de información sobre la implementación de los compromisos de cada Parte].
7. La medida en que las Partes que son países en desarrollo lleven a la práctica efectivamente sus compromisos en virtud de la Convención dependerá de la manera en que las Partes que son países desarrollados lleven a la práctica efectivamente sus compromisos relativos a los recursos financieros y la transferencia de tecnología, y se tendrá plenamente en cuenta que el desarrollo económico y social y la erradicación de la pobreza son las prioridades primeras y esenciales de las Partes que son países en desarrollo.

<sup>2</sup> Por sumidero se entiende cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI en la atmósfera.

<sup>3</sup> Por depósito se entiende uno o más componentes del sistema climático en que se encuentra almacenado un GEI o un precursor de un GEI.

### **Tabla 3. El Protocolo de Kyoto**

El artículo 10 del PK, con diferencias menores de redacción, confirma los compromisos adoptados por todas las Partes de la Convención en su artículo 4, numeral 1 y sólo da mayor énfasis a la adaptación adecuada al cambio climático, para lo cual señala que es necesario mejorar la planificación espacial [el ordenamiento territorial].

El Mecanismo para un Desarrollo Limpio:

una oportunidad que ofrece el Protocolo de Kyoto para las Partes en desarrollo

El artículo 12 del Protocolo de Kyoto (PK) define, en su numeral 1, un mecanismo para un desarrollo limpio (MDL), cuyo propósito y beneficios explica en sus numerales 2 y 3:

12-2 El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3 [el cual indica que estos compromisos se precisan en el Anexo B].

12-3 En el marco del mecanismo para un desarrollo limpio:

- a) Las Partes no incluidas en el anexo I se beneficiarán de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de las emisiones; y
- b) Las Partes incluidas en el anexo I podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas actividades de proyectos para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3, conforme lo determine la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo.

INE. [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx](http://cambio_climatico.ine.gob.mx)

La situación actual de México respecto a lo planteado en los recuadros anteriores es la siguiente:

México es el país en desarrollo que con mayor fuerza y en forma sistemática ha reportado sus emisiones de gases de efecto invernadero, publicando Inventarios Nacionales de Emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero, de conformidad con los lineamientos y las metodologías vigentes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), sobre contabilidad y reporte, aplicables a los sectores de actividad económica identificados como principales fuentes emisoras. La más reciente actualización del Inventario Nacional de Emisiones de GEI (INEGEI) da cuenta de todos los GEI controlados por el Protocolo de Kyoto y las principales fuentes emisoras, con base en datos hasta 2025 (Tabla 4 y Figura 3). El INEGEI 1990–2002 reporta un total de 643.2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e (bióxido de carbono equivalente) para el año 2002.



Las emisiones de México equivalen a alrededor del 1.5% del total mundial, de acuerdo con las estimaciones del Instituto para los Recursos Mundiales, consistentes con datos de la Agencia Internacional de Energía y de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), como se presenta en el Anexo 1.

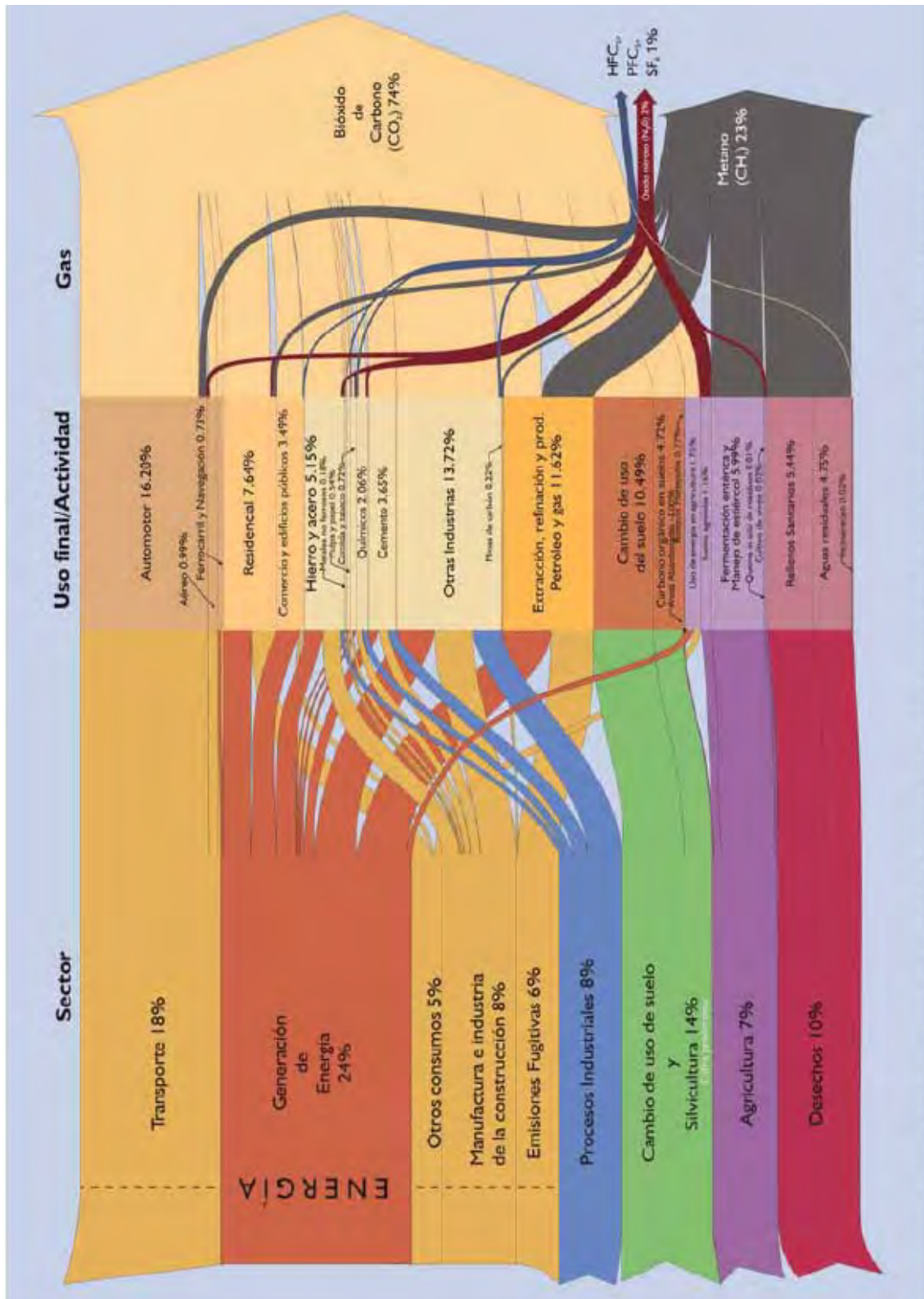
**Tabla 4. Emisiones de México 1990-2002, millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e)**

<b>Categoría de Emisión</b>	<b>1990</b>	<b>1992</b>	<b>1994</b>	<b>1996</b>	<b>1998</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>
<b>1 Energía</b>	<b>312.027</b>	<b>321.836</b>	<b>342.900</b>	<b>349.431</b>	<b>394.129</b>	<b>398.627</b>	<b>389.497</b>
1A Consumo de combustibles fósiles	279.864	291.046	308.932	311.197	351.760	356.796	350.414
1B Emisiones fugitivas	32.164	30.790	33.968	38.233	42.369	41.831	39.082
<b>2 Procesos industriales</b>	32.456	32.878	39.248	42.744	50.973	55.851	52.102
<b>4 Agricultura</b>	47.428	46.049	45.504	44.077	45.445	45.527	46.146
<b>6 Desechos</b>	33.357	36.935	46.862	52.895	62.656	63.220	65.584
<b>Total sin USCUS</b>	<b>425.269</b>	<b>437.698</b>	<b>474.514</b>	<b>489.146</b>	<b>553.203</b>	<b>563.225</b>	<b>553.329</b>
<b>Total con USCUS (sólo 2002)</b>							<b>643.183</b>

Categorías establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Se omiten las emisiones de las categorías [3], Solventes o Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano (COVDM, gases precursores de GEI) [5] y Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUS), cuya contribución preliminar ha sido estimada en 89.9 millones de toneladas, en promedio, durante el periodo 1993-2002 y sólo considerada para este último año.

IPCC, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Ginebra & IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Ginebra.

**Figura 3. Diagrama de la contribución relativa de las principales fuentes emisoras de GEI en México 2002**



Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT), 2006. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. México. <http://www.ine.gov.mx>

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), realizado en el periodo de 1990-2002, reporta que México emite 643 millones de toneladas al año de Gases de Efecto Invernadero (GEI), lo que supone 1.5% de emisiones mundiales que se estiman en 41 mil 755 millones de toneladas.

El inventario también refleja que se podrían reducir unos 100 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> anuales, lo cual supondría una entrada adicional de mil millones de dólares cada año (2008 a 2012), si lograra vender esas reducciones a países desarrollados que a su vez acreditaran las disminuciones como si hubieran sido en territorio propio, lo cual generaría beneficios económicos y ambientales.

Sin embargo, la realidad es que por el momento sólo hay condiciones de disminuir 17 millones de toneladas a través de 31 proyectos que ya están aprobados para su ejecución, cifras que colocan a México en el quinto lugar mundial, detrás de China, India, Corea y Brasil, en cuanto al número de toneladas que se dejarán de emitir y el tercero en cuanto a número de proyectos.

En la Tabla 5 se muestran los precios actuales para el mercado de bonos de carbono:

**Tabla 5. Precios estimados para los bonos de carbono**

<b>Tipo de instrumento para reducción de emisiones</b>	<b>Período de compromiso</b>	<b>Rango de precios (oferta) por ton CO<sub>2</sub>e</b>
<b>Instrumentos del Protocolo de Kyoto</b>		
<b>MDL – CERs</b>	<b>2000 – 2012</b>	<b>EUR 4.00 – 6.50</b>
Implementación Conjunta – Unidades de reducción de emisiones	2008 – 2012	EUR 4.00 – 7.00
<b>Tipo de bienes o servicios</b>	<b>Período de compromiso</b>	<b>Propuesta / oferta por permiso</b>
<b>Instrumentos por naciones</b>		
Permisos de Emisión del Reino Unido – oferta	2002 – 2003	GBP 2.80 / 3.30
Permisos de Emisiones de la Unión Europea – oferta*	Primer período (2005 – 2007)	EUR 17.50 / 17.85

MDL = Mecanismo para el Desarrollo Limpio    CERs = Certificados de Reducción de Emisiones    EUR = Euros  
 GBP = Libras Esterlinas    \*compatible con los permisos del Protocolo de Kyoto a partir de 2008

Natsource, Abril 2005. <http://www.natsource.com>

## **1.2 Situación actual del petróleo**

La dependencia mundial de los combustibles fósiles no es una novedad, pero sí el hecho de saber que los yacimientos de petróleo no durarán mucho tiempo según el ritmo de la creciente demanda del mercado. Se sabe que desde hace 2 años los precios del petróleo han aumentado notablemente, llegando incluso a máximos históricos. Esto debería llamar más nuestra atención. Aproximadamente 90 países producen petróleo, pero únicamente algunos generan el grueso de la producción mundial. En 1999, la producción mundial de petróleo ascendió a 3,452.2 millones de toneladas de las que aproximadamente 1,410 de toneladas, o sea el 40.8 %, proceden de 11 países de la OPEP (Arabia Saudita, Argelia, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, República Islámica del Irán, Irak, Kuwait, Jamahiriya Árabe Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela). Los principales países productores de petróleo que no pertenecen a la OPEP son, entre otros, Estados Unidos, México, Dinamarca, Noruega, Reino Unido, Federación Rusa, China y Viet Nam. El petróleo satisface un 50 % de las necesidades totales de energía. El petróleo no es solamente una materia prima esencial para más de 2,000

productos finales, sino que también se utiliza en los medios de transporte, la calefacción y otros.

**Figura 4. Producción mundial de petróleo**



"Información estadística de la Agencia Internacional de la Energía (AIE)" y The Oil Drum. Revista Dossier de la editorial Vanguardia

En las tablas de los Anexos 2 y 3 se puede observar cómo decaería la producción del energético a nivel mundial. Alrededor de esta situación ha crecido la teoría de Hubbert, también conocida como "el cenit del petróleo"; ésta predice aproximadamente cuándo debe agotarse el petróleo a partir de que llegue a su cenit.

En 2005 se encendieron en Petróleos Mexicanos (PEMEX) los focos rojos debido a Cantarell, el principal yacimiento petrolero productor de crudo pesado, ya que comenzó a disminuir antes de lo pronosticado la cantidad de barriles extraídos. En ese año se producían un millón 374 mil barriles por día, pero en 2007 la producción ha sido de aproximadamente 900 mil barriles por día. De mantenerse esta tendencia, PEMEX no podrá satisfacer la demanda de sus refinerías (un millón 253 mil barriles por día). En 2007, Cantarell ha aportado 48.3 % de la producción nacional de petróleo crudo, cuando en 2004 aportaba el 62.1 % de la producción. En un estimado, se tiene contemplado que en 2007 la producción de Cantarell sea de 1 millón 562 mil barriles al año, lo que equivale a

943 mil barriles por día, pero para 2010 se estima que la producción será de 600 mil barriles por día.

Se tienen proyectos para perforación y explotación de 27 pozos nuevos y la reparación de 49 pozos con tecnología nueva. Para esto se contempla la adquisición de equipo nuevo, el cual es escaso y muy caro. Se espera que se autorice la inversión de capital extranjero en 2008 para ayudar a explotar nuevos yacimientos con nueva tecnología, la cual es más eficiente y nos permitiría mantener por algún tiempo más la producción del petróleo en México.

### ***1.3 Gasolinas mexicanas***

Para entender la necesidad de realizar un cambio en las gasolinas mexicanas, primero debe conocerse un poco acerca de estas y las opciones que tiene México para reducir las emisiones de GEI.

Entre los productos derivados del petróleo la gasolina es el combustible con más demanda, esta constituida por la suma de varios hidrocarburos ( $C_9$ - $C_{12}$ ). La gran mayoría de los autos en el mundo la usan para hacer funcionar sus motores. Así, este combustible se clasifica de acuerdo con su nivel de octanaje.

De acuerdo con la revista "Octanaje", publicada por PEMEX Refinación, los motores de combustión interna tienen un funcionamiento dividido en cuatro tiempos (admisión, compresión, combustión y escape), en donde una mezcla de aire y gasolina es comprimida por la acción de un cilindro. Como resultado de esta presión, la mezcla adquiere una elevada temperatura que enciende el combustible.

Por esta razón, a las gasolinas se les agrega un aditivo medido en número de octanos, el cual regula la capacidad detonante del combustible cuando se

aplica una chispa, eliminando la presencia de explosiones múltiples dentro del motor, de tal manera que se produzca la máxima cantidad de energía útil.

Antes de comenzar a hablar de los oxigenantes, es necesario saber qué es la gasolina y cuáles son sus propiedades.

La gasolina es un producto obtenido de la refinación del petróleo; es un líquido incoloro, pálido o rosado y sumamente inflamable.

Sus propiedades principales son cuatro:

Número de octano: Es la principal propiedad, ya que, está altamente relacionada con el rendimiento del motor del vehículo. Es la medida de su calidad antidetonante, es decir; la habilidad para quemarse sin causar detonación.

Curva de destilación: Esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Por lo tanto, se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70°C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío. A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140°C, se asegura una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor. A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible.

Volatilidad: La gasolina es muy volátil. Esta propiedad representa de forma indirecta el contenido de los componentes volátiles que brindan la seguridad, en este caso de la gasolina, en su transporte y almacenamiento. Esta propiedad de la gasolina se mide como la presión de vapor, la cual tiene un valor de 0.7-0.85 mmHg.

Contenido de azufre: Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto. Si esta cantidad sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape. También se relaciona haciendo una comparación entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas por sus efectos nocivos sobre el ambiente, siendo el contenido de azufre un factor importante en la producción de lluvia ácida.

Hasta antes de 1994 las gasolinas mexicanas utilizaban como aditivo para sus gasolinas Tetraetilo de plomo (TEP), para aumentar el octanaje. Cuando se dan cuenta de la contaminación ocasionada por el plomo en la gasolina, comienzan a reducir la cantidad del TEP utilizado, con esto reducen la cantidad de plomo en el ambiente en 1982 3,240 ton/año y en 1991 otras 646 ton/año.

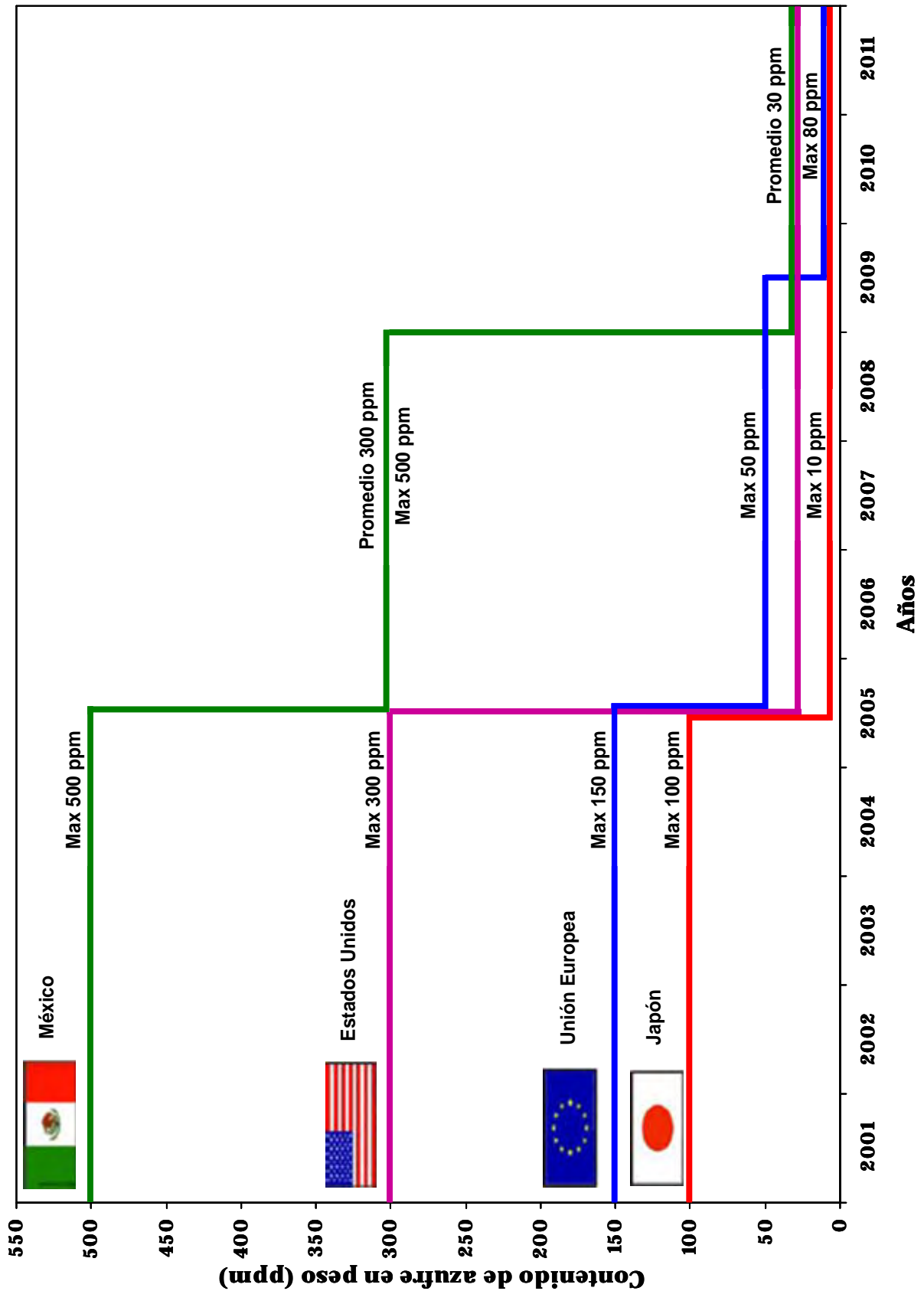
En 1994 la gasolina *Magna Sin* y *Nova* se reformulan, se introduce el uso de metil terbutil éter (MTBE) y Teramil metil éter (la mezcla se utilizó por problemas de volatilidad), esto permite controlar el contenido de aromáticos a 30 % máximo, el de olefinas a 15 % y el benceno a 2 %.

En México existen actualmente 2 tipos de gasolinas que se comercializan: la *Magna* con 87 octanos y la *Premium* con 93 octanos. Las gasolinas que se consumen actualmente no tienen plomo y su octano es igual al de las gasolinas Regular y Premium norteamericanas. Desde hace más de diez años se aplican Aditivos para controlar la formación de depósitos en los sistemas de admisión de combustible y a partir de 1996 se introdujeron especificaciones estrictas para limitar el contenido de olefinas, aromáticos, benceno y menor presión de vapor.

Una vez solucionado el problema del plomo en la gasolina, se comenzó a tratar el del contenido de azufre, el cual es muy alto en las gasolinas mexicanas (Tabla 6), y la tendencia mundial nos marca la disminución del contenido de azufre, esto puede observarse a continuación (Figura 5).



**Figura 5. Etapas de reducción del contenido de azufre en gasolinas**



**Tabla 6. Contenido máximo de azufre en gasolinas mexicanas al año**

<b>Combustible</b>	<b>PPM en peso azufre</b>
PEMEX Premium	250 / 300 max (92 octanos)
PEMEX Magna (ZMVM)	500 max
PEMEX Magna (Provincia)	1000 max

Centro Mario Molina. <http://www.centromariomolina.org>

Se sabe que las seis refinerías de PEMEX no son suficientes para abastecer el mercado nacional, por lo que se debe importar cerca de la quinta parte de la gasolina que consumimos. Dada esta situación es que deben explorarse tecnologías alternativas para la producción de combustibles más limpios y en el caso de ser posible cambiar los combustibles fósiles por biocombustibles.

#### **1.4 Tecnologías opcionales**

Ahora bien, ya que se ha planteado el porqué existe la necesidad de hacer cambios en la tecnología para reducir la producción y emisión de GEI. Se sabe que gran parte de estos GEI provienen de nuestros combustibles. Es por esta razón que se debe conocer un poco acerca de los combustibles, qué se ha hecho globalmente y cuáles son algunas de las tecnologías que han sido propuestas.

Para entrar en materia de lo que nos ocupa de manera principal se deben mencionar las opciones que se tienen para sustituir los combustibles fósiles (no renovables) por combustibles biológicamente renovables o en su defecto mejorar la combustión de nuestros combustibles.

Con lo anterior se observa la necesidad de realizar otros trabajos que permitan obtener energía de fuentes alternas al petróleo; a nivel mundial ya se han realizado diversos trabajos para comenzar a obtener energía de otras fuentes. Algunos de los principales trabajos son los siguientes:

a) *Vehículo eléctrico*: Esta solución busca sustituir el combustible por baterías recargables para el automóvil; presenta la ventaja de que pueden conectarse a una toma de energía, pero únicamente sirve en viajes cortos y a velocidades bajas (en las ciudades), aunque ayuda también en vehículos de carga ligera. Si bien en apariencia se resuelve el problema de la contaminación, éste solamente se transporta a otro lugar, ya que, como es bien sabido, las baterías que cumplen con su ciclo de vida contaminan mucho debido a que no tenemos la cultura del reciclaje de estos materiales y también parte de la energía eléctrica producida en la actualidad viene de la quema de combustibles fósiles.

b) *Vehículo híbrido (eléctrico-gasolina)*: Esta opción presenta grandes beneficios, ya que minimiza el consumo de gasolina, pero el problema principal persiste, sigue quemando el combustible y emitiendo gases a la atmósfera.

c) *Hidrogeno como combustible*: Esta opción parece muy buena y existen varios trabajos al respecto. Se basa en la idea de que al realizar la combustión del hidrógeno, ésta da como producto de la reacción química agua, el problema real reside en el almacenamiento y la recarga del combustible, ya que si bien es conocido que el Hidrogeno ( $H_2$ ) es el elemento más abundante en el universo y este nos brindaría un combustible limpio e inagotable, presenta sus complicaciones ya que es inflamable y difícilmente puede almacenarse como gas y si se licúa, su temperatura es inferior a  $200^\circ C$ .

d) *Celdas solares*: Esta opción parece ofrecernos ventajas muy buenas, puesto que recolecta la energía emitida por el sol y la envía a un acumulador que la almacena para ser ocupada en el momento que se requiere, pero si el clima no es bueno, la cantidad de energía recolectada es muy poca y puede ser agotada con facilidad.

e) *Biocombustibles*: Esta es la opción que se desarrollará a lo largo de este trabajo y como su nombre lo indica, se basa en obtener combustibles a partir de

fuentes renovables; los ejemplos clave son el bioetanol y el biodiesel, los cuales son obtenidos a partir de fuentes naturales, es decir: vegetales que nos permitan obtener sustancias necesarias para producir combustibles. El problema actual que se presenta es la producción necesaria para satisfacer la demanda del mercado. Cabe mencionar, que a nivel mundial, ésta es la opción más viable.

*f) Gas natural:* Esta opción trata de usar el gas natural como combustible en automóviles y camiones de transporte; la combustión del gas natural es bastante limpia y ayudaría bastante con el problema de las emisiones; sin embargo, el problema es que nadie quiere tener cerca de su casa un centro de recarga de gas, por temor a una explosión.

*g) Oxigenación de las gasolinas (mezclas):* Esta opción ha tenido bastante aceptación, debido a que, como se ha mencionado, los biocombustibles no son suficientes en la actualidad para satisfacer la demanda. Dada esta situación, lo que se puede hacer es usar estos biocombustibles para producir aditivos oxigenantes para las gasolinas, que nos ayuden a disminuir las emisiones contaminantes por sustitución del MTBE presente en las gasolinas.

### **1.5 Información técnica**

El metilterbutileter, mejor conocido por sus siglas MTBE, es un compuesto presente en las gasolinas, usado para ayudar en la oxigenación de la gasolina, elevar su octanaje y ayudar a una combustión mas limpia, como sustituto del Tetraetilo de plomo (TEP) que contenía la gasolina hace algunos años para aumentar su octanaje. Sus propiedades son las siguientes:

Es un líquido claro y extremadamente inflamable; si se inhala, puede producir mareo y vomito, ya que sus vapores son irritantes; su punto de ebullición es de 53.3 °C. Tiene una solubilidad en agua de 4.8 % en peso. Su densidad de vapor es de 3.1 con respecto al aire y un grado de evaporación igual al del éter.

Su peso molecular es 88.2 g/g mol y su fórmula condensada es  $C_5H_{12}O$ : LD<sub>50</sub> oral es de 3.8 g/kg, dérmica es 10.2g/kg, inhalada es 23,500 ppm/4 hrs.

Si el MTBE se derrama o chorrea, puede alcanzar los mantos freáticos y contaminarlos. En agua puede ser detectado por su olor y sabor a concentraciones muy bajas, pero en altas concentraciones se torna no potable e inútil para otras aplicaciones. El tratamiento del agua contaminada es extraordinariamente caro; también es importante impedir que se evapore de los recipientes que lo contengan para evitar tenerlo en el ambiente. No debe usarse en lugares sin ventilación; se recomienda el uso de equipo de protección personal. Se anexa la MSDS para mayor referencia (Anexo 4).

En USA, la Agencia de Protección al Ambiente (Environmental Protection Agency, EPA) solicitó la disminución gradual de emisiones de MTBE en 1999 hasta llegar a su eliminación total el 31 de diciembre de 2002. La razón de su eliminación fue que, para cumplir con lo marcado por la norma, el costo era demasiado alto y el precio de venta no era suficiente para cubrir los gastos. Esto marca una tendencia a nivel mundial y a partir de entonces se comienza a buscar nuevas opciones para sustituir este aditivo oxigenante de las gasolinas. El oxigenante que cumple con ser un energético renovable, de menor contaminación y que nos ayuda a una mejor combustión es el etanol (Et-OH). Éste presenta varias ventajas sobre el MTBE, pero también presenta sus inconvenientes los cuales se trataran más adelante.

Se sabe que desde 2003 México debió tomar acciones para comenzar a reducir las emisiones de MTBE; sin embargo, no se han realizado grandes avances. Cabe mencionar que de los trabajos realizados de manera global para solucionar el problema de los combustibles fósiles y las alternativas que se tienen no se aplican en México, ya que no se dispone de la tecnología necesaria para su implementación general, así como tampoco de los medios para su difusión entre la población, debido al costo que generaría y al bajo nivel de ingresos del grueso de

la población. En el caso de que el costo no sea elevado y el nuevo combustible resulte más económico, hay oposición de la población, ya sea por ignorancia o por intereses políticos. Finalmente, cabe mencionar el hecho de que las opciones que tiene México en la actualidad son aquéllas que van con la tendencia principal a nivel mundial (una mejor oxigenación de las gasolinas por medio de la sustitución del MTBE en las gasolinas por Et-OH o algún otro oxigenante).

Se tienen problemas para poder usar el Et-OH como primera opción, ya que como se explicará más adelante, la industria agrícola mexicana deja mucho que desear, por falta de apoyo gubernamental, en la tecnología y los programas maestros para el desarrollo agrícola.

Si se empieza a observar detenidamente las opciones que le quedan a México, lo primero que se debería exigir para cumplir con lo establecido en el Protocolo de Kyoto es disminuir la cantidad de emisiones GEI, de las cuales una parte muy importante es producida por los vehículos, como se muestra en la Figura 7. Para cumplir con el compromiso oxigenando mejor la gasolina y sin poder utilizar el Et-OH como marca la tendencia mundial, debemos entonces ocupar este producto para hacer más larga la cadena de carbonos de MTBE y usar en su lugar el ETBE (MSDS en Anexo 5). Cabe aclarar que, si bien, esto no evita el problema de la toxicidad en el agua y sus problemas asociados, sí oxigena mejor la gasolina y cumple con los compromisos adquiridos.

### ***1.6 Dosis de Tumoración Media (Tumorating Data Media)***

Para finalizar y dejar bien sentadas las bases se presenta una gráfica (figura 6) con la finalidad de brindar una idea más concreta. Las emisiones provenientes de los automóviles en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) contienen una cantidad importante de MTBE. Para dar un estimado del parque vehicular en la ZMVM se tomarán algunos datos publicados por el Centro Mario Molina (CMM) y, para poder mostrar la gravedad del problema que representa

seguir utilizando el MTBE en gasolinas se utilizará un dato recientemente publicado por la Universidad de Berkeley, USA, con el título: "The carcinogenic potency project"<sup>6</sup>. Está dado por el TD<sub>50</sub> (Dosis de tumoración media) e indica la cantidad de MTBE que, al ingerirse o exponerse a ella, causa tumores cancerígenos y qué parte del cuerpo es la más propensa.

A continuación se presenta un extracto de la tabla de TD<sub>50</sub> para 2 substancias contenidas en la gasolina: el benceno y el MTBE.

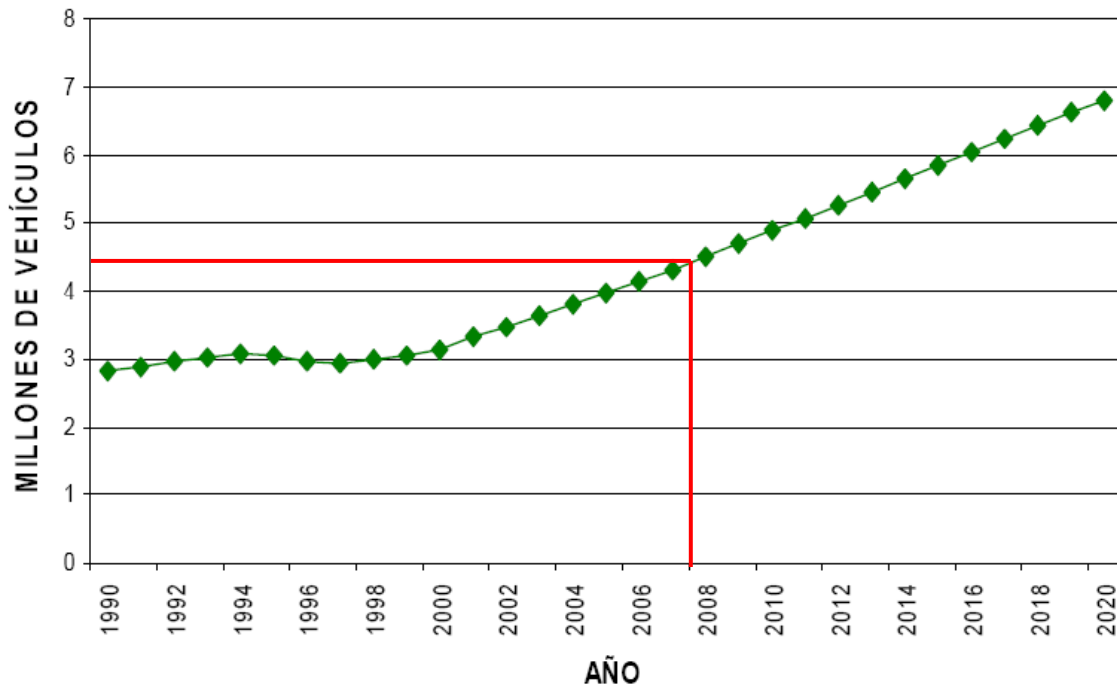
**Tabla 7. TD<sub>50</sub> para Benceno y MTBE**

Nombre químico	CAS	Salmg nela	Dosis de Tumoración Media TD <sub>50</sub> (mg/kg/día)		Positivo en rata y ubicación de tumor		Positivo en ratón y ubicación de tumor	
			Rata	Ratón	Macho	Hembra	Macho	Hembra
Benceno	71-43.2	-	169 <sup>m</sup>	77.5 <sup>m,v</sup>	ezy nas orc ski sto vsc	ezy nas orc sto vsc	ezy hag hmo lun pre	ezy hmo lun mgl ova
Metiliterbutileter	1634-04-4	-	702 <sup>m</sup>	6550	kid tes	hmo	-	liv

University of Berkeley. USA. *The carcinogenic potency proyect.*  
<http://www.potency.berkeley.edu/td50.html>

Con los datos del TD<sub>50</sub>, el parque vehicular promedio en la ZMVM, la extensión territorial y la población promedio de la ZMVM en 2008, es posible establecer conclusiones fundamentales y recomendaciones básicas para el futuro. De acuerdo con la siguiente grafica publicada por el CMM, se estiman 4.5 millones de vehículos. La extensión territorial de la ZMVM es de 15,000 km<sup>2</sup> y su población de 18 millones de habitantes, aproximadamente.

<sup>6</sup> University of Berkeley. USA. *The carcinogenic potency proyect.* <http://www.potency.berkeley.edu/td50.html>

**Figura 6. Proyección de la flota vehicular en la ZMVM**

Centro Mario Molina. <http://www.centromariomolina.org>

Es muy importante insistir en que tomando en cuenta los datos anteriormente expuestos, se puede definir, establecer y asegurar fácilmente que las emisiones de MTBE en el ambiente afectan profundamente a la población haciéndola propensa a tumoraciones cancerígenas. La afectación principal se concentra principalmente en los niños y, posteriormente, en los adolescentes y adultos de bajo peso.

Eso no es todo, dado que en los últimos estudios realizados mundialmente se descubrió que aún los tanques almacenadores de gasolina presentan fugas de esta sustancia, el MTBE tiene la facilidad de filtrarse al subsuelo, contaminando el agua y esto aunado al problema de biodegradación, se torna un problema de suma importancia que es necesario resolver urgentemente.



## II. EVALUACIÓN DE OPCIONES PARA MÉXICO

---

### *II.1 Escenarios para la sustitución de MTBE por ETBE en México*

De acuerdo con la tendencia global las opciones que México debe evaluar para sus combustibles son los llamados biocombustibles, se prevén los siguientes escenarios:

- 1.- Sustitución de la producción nacional de MTBE y TAME por ETBE y TAEE, manteniendo las importaciones de MTBE necesarias para satisfacer la demanda de las gasolinas oxigenadas de las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México.
- 2.- En éste se incorporaría además del empleo de Et-OH como oxigenante, la sustitución del 10 al 15 por ciento de la diferencia en volumen de las ventas nacionales de gasolinas menos el volumen considerado en el escenario.

Se considera el primer escenario como el más viable para México en el periodo 2006 al 2012, esto debido a que la inversión requerida a corto plazo es menor y es más fácil modificar las tecnologías actuales para la fabricación de MTBE y TAME adecuándolas para la producción de ETBE y TAEE que invertir en toda una nueva tecnología.

## ***11.2 Situación actual de la gasolina en México***

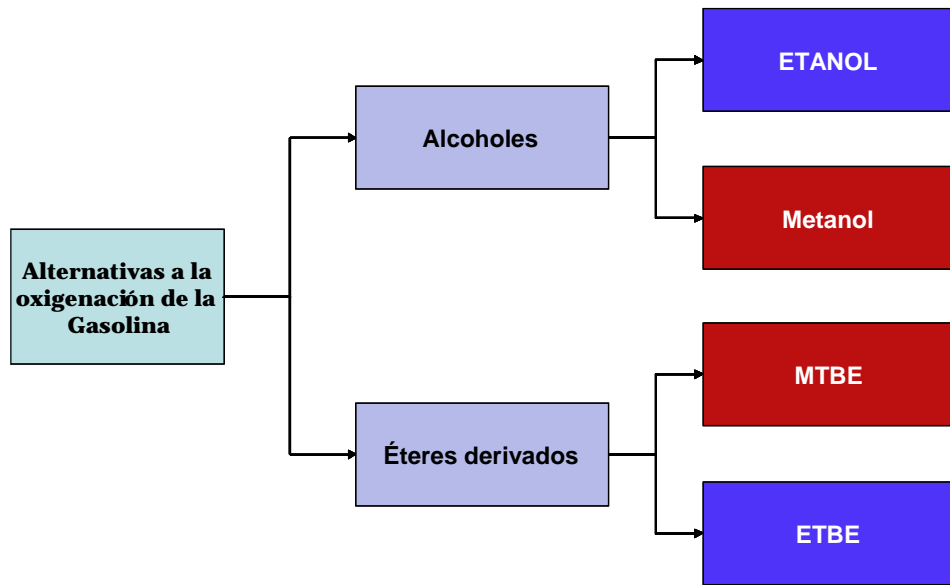
La introducción de un nuevo combustible siempre es una tarea complicada, debido a que en ocasiones se requiere de la modificación de los motores utilizados o un completo cambio en la tecnología, el cambio del oxigenante en el combustible no requiere de modificaciones al motor siempre y cuando se mantenga dentro de ciertos límites, en este caso al referirnos al Et-OH mientras nos mantengamos por debajo del 15 por ciento en volumen no presenta problemas, ni se requieren modificaciones al motor del automóvil.

Si bien es cierto que la capacidad actual instalada no satisface los requerimientos de la demanda nacional y se ha debido recurrir a la importación de MTBE, también es cierto que un pequeño cambio en la forma de producir el oxigenante a partir de otra materia prima podría ayudar a obtener una mayor cantidad de éste y ser autosuficientes. Para poder saber si esta opción es buena, se debe analizar primeramente de dónde se obtendría la materia prima (Et-OH) y cuál sería el requerimiento de éste para oxigenar las gasolinas, así como también el por qué es necesario sustituir al MTBE.

Actualmente existen diversos tipos de gasolinas, en función del número de octanos y de su relación de compresión, ya que cuanto mayor sea la relación de compresión del motor, mayor tiene que ser el octanaje de la gasolina. En el caso de utilizarse una gasolina de menor número de octanaje que el adecuado, se produce un fenómeno denominado detonación o pre-encendido (expansión muy brusca y descontrolada).

Ahora que se tiene claro qué es la gasolina se requiere saber cuáles son sus oxigenantes o posibles sustitutos, de acuerdo con lo propuesto son 2 el ETBE y el Et-OH. En la siguiente figura se ilustran los utilizados actualmente y los posibles sustitutos.

**Figura 7. Alternativas de oxigenación para la gasolina**



De acuerdo con la Figura 7 se tiene que los alcoholes Met-OH y Et-OH son los principales alcoholes aplicables a motores de combustión interna, esto debido a que se obtienen en su mayoría a partir del petróleo. Por supuesto se han aplicado algunos otros alcoholes derivados del petróleo para este fin, pero globalmente se busca obtener energéticos a partir de fuentes naturales renovables.

Se debe saber que estos alcoholes sirven como oxigenantes de la gasolina y estos a su vez sirven para formar algunos otros compuestos oxigenantes tales como el MTBE y el ETBE. En lo que nos ocupa hablaremos principalmente de estos cuatro, pero no podemos olvidarnos de 2 compuestos mas que también se ocupan para la oxigenación de las gasolinas estos son el TAME y el TAEE.

Hay tres razones fundamentales para explicar el predominio en el uso de los alcoholes con uno o dos átomos de carbono (Met-OH y Et-OH):

1. La fabricación y la inflamabilidad son conocidas desde la antigüedad.
2. Son líquidos a la temperatura ambiente, su volatilidad es razonable y sus cualidades como combustibles son buenas.
3. Se pueden obtener fácilmente de la fermentación y/o destilación de productos orgánicos.

### ***II.3 Análisis del cambio del MTBE por ETBE***

Como se ha mencionado se busca la sustitución del MTBE por ETBE o Et-OH y para esto debe entenderse claramente cómo justifica este cambio con relación al carbono renovable.

1.- Para remplazar el MTBE por ETBE la justificación es bastante sencilla de entender. Se sabe que la gasolina esta constituida de hidrocarburos con cadenas de 9 a 12 átomos de carbono. Para efectos prácticos se toman los 2 rangos ya que se desconoce la proporción exacta de la mezcla, y el aditivo que se pretende utilizar contiene una cadena de 4 carbonos y 2 carbonos que son renovables (de origen biológico). Ahora bien lo que se desea saber es cuanto de este carbono seria renovable, para lo cual sencillamente sumaremos los pesos moleculares de los carbonos totales y obtendremos el porcentaje del carbón renovable presente en la mezcla. Se tienen para la cota superior  $9C$  (al 90%) +  $(4C + 2C)$  (al 10%) =  $97.2 + 7.2$ , el peso relativo total seria de  $104.4$  g/mol, el equivalente en la mezcla de los carbonos renovables seria del 2.29 por ciento aproximadamente y para la cota inferior  $12C$  (al 90%) +  $(4C + 2C)$  (al 10%) =  $144 + 7.2$ , el peso relativo total seria de  $151.2$  g/mol, el equivalente en la mezcla de los carbonos renovables seria del 1.58 por ciento aproximadamente.

Lo anterior nos indica que al introducir ETBE en la gasolina el carbono renovable sería aproximadamente el 1.93 por ciento, mientras al usar MTBE no se tienen carbonos renovables, es decir, que el cambio a ETBE introduce carbonos renovables en la gasolina.

2.- Para tener una mayor certidumbre de que el cambio de tecnología ideal sería introducir Et-OH en las gasolinas entre el 10 y el 15 por ciento en volumen. Se tiene en la cota superior 9C (al 90%) + 2C (al 10%) = 99.6 g/gmol lo que nos da un 2.4 por ciento de carbono renovable y en la cota inferior 12C (al 90%) + 2C (al 10%) = 132 g/gmol, esto nos da un 1.81 por ciento de carbono renovable. Con este simple cálculo se demuestra la conveniencia de utilizar el Et-OH en las gasolinas para alcanzar un porcentaje de carbono renovable superior al 2.1.

Si lo anterior se conjunta con la producción anual promedio de GEI, lo que se obtiene es lo siguiente; para los 643 millones de toneladas al año de GEI, el solo hecho de cambiar el MTBE por el ETBE fomenta la renovación del carbono, la cual sería de 33.9 mil toneladas por día (12.4 millones de toneladas por año) y por Et-OH el carbono renovable sería de 36.9 miles de toneladas por día (13.5 millones de toneladas por año). Lo atractivo de realizar estos cambios es entrar al mercado de los bonos de carbono con la venta del carbono biológico o renovable.

#### ***11.4 Marco legal (legislación y acuerdos)***

Ahora que se ha demostrado por que es conveniente el cambio del aditivo en la gasolina es necesario tener en cuenta el marco legal, es decir cual es la legislación que rige actualmente los energéticos y si es que hay alguna para los bioenergéticos.

Es necesario saber si existen compromisos internacionales, es decir, tratados o acuerdos así como también qué legislaciones que puedan afectar la producción del bioetanol.

El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) integro en un solo mercado a dos países desarrollados con uno en desarrollo y las negociaciones resultaron asimétricas. Los márgenes de protección para los bienes agropecuarios estuvieron muy por debajo de los niveles internacionales, el periodo de transición para la eliminación de aranceles por parte de México a la mayoría de los productos agrícolas expiró a finales de 2002, las únicas excepciones se hicieron para productos importantes para México (maíz, **azúcar**, leche en polvo y frijoles). Su eliminación se retrasó hasta el 2008.

Los acuerdos permitieron que México desgravara antes de la entrada en vigor del mismo Tratado, la fracción 22.07.10.01 (Alcohol etílico sin desnaturalizar con un grado alcohólico volumétrico superior o igual a 80% vol.), por lo que Estados Unidos y Canadá pueden exportar libremente a México este tipo de alcohol. Quedó liberada desde 1998.

A pesar de los altibajos que ha enfrentado, la industria azucarera y alcoholera en México, aún mantiene una posición importante en el sector agroindustrial, actualmente se cultivan más de 650 mil hectáreas de caña de azúcar de donde se extrae la materia prima para la fabricación de alcohol etílico. La producción de alcohol etílico en México prácticamente mantiene una tendencia descendente en los últimos diez años, en tanto que la demanda ha crecido considerablemente, por lo que se han tenido que importar cantidades cada vez mayores de alcohol originario de Estados Unidos.

Además de que los precios dificultan la competitividad del sector, se necesitaría diversificar, reconvertir y hacer eficientes los procesos, para poder situar la caña de azúcar producida en México de manera competitiva en la apertura total del mercado azucarero, prevista en el TLCAN para aplicarse en 2008. Como ejemplo de esta situación, la conversión melaza-Et-OH en Brasil tiene una eficiencia del 48% *versus* 30% como promedio en los procesos mexicanos.

En términos de legislaciones y regulaciones aplicables al mercado energético mexicano, se pueden citar las siguientes:

- *Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo*: Se vincula a la facultad del estado para la transformación del petróleo crudo en la industria de refinación, así como en el transporte, distribución y venta de primera mano de los productos obtenidos de la misma. Si bien el etanol proviene del sector agrícola, su empleo en forma directa como combustible no estaría supeditado a estas regulaciones. No así la mezcla de etanol con gasolina (en cualquiera de sus proporciones), la cual sólo puede llevarla a cabo Petróleos Mexicanos (PEMEX), a través de su Organismo Subsidiario PEMEX Refinación, quién en primer lugar es responsable de la elaboración, transporte, almacenamiento, distribución y las ventas de primera mano de los derivados del petróleo, y además es el propietario y administrador de la Franquicia PEMEX<sup>7</sup>.
- *Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS)*: Se aplican a la comercialización de las gasolinas y el diesel que se expenden en la red de estaciones de servicio, así como a las importaciones de estos productos. En este contexto, la citada legislación establece en el artículo 2º, inciso B que el alcohol (solución acuosa de Et-OH con impurezas que lo acompañan con graduación mayor a 55 grados Gay Lussacc, a una temperatura de 15 °C con la adición de la sustancias desnaturalizantes autorizadas por la Secretaría de Salud) y las mieles incristalizables tienen un gravamen de 50 por ciento<sup>8</sup>.
- *Ley del Impuesto al Valor Agregado (IVA)*: Establece que los precios de referencia de las gasolinas y el diesel importados se ajustaran por la calidad correspondiente, al producto de esta operación se deberán sumar los costos

---

<sup>7</sup> Comisión Reguladora de Energía (CRE). <http://www.cre.gob.mx/documento/38.pdf>

<sup>8</sup> Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/78.pdf>

de manejo y el costo neto de transporte a las agencias de ventas de que se trate, éstos valores que se obtengan no incluirán el IVA<sup>9</sup>.

- *Ley de Energía para el Campo*: establece las reglas para el otorgamiento de apoyos a las actividades agropecuarias, en donde se incluye la agricultura, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), establece las cuotas energéticas a cada una de las actividades<sup>10</sup>.
- *Proyecto de Decreto de la Ley para el Desarrollo y Promoción de Bioenergéticos*: En ella se establece la utilización de una concentración máxima de 10 por ciento en volumen de bioetanol en la formulación de las gasolinas a nivel nacional<sup>11</sup>.
- *NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental*: La PEMEX Magna que se comercializa en las zonas metropolitanas antes citadas y la PEMEX Premium, actualmente se oxigenan con éter metil terbutílico y el éter metil teramílico (conocidos por sus siglas en inglés como MTBE y TAME), estos son obtenidos en las refinerías y el déficit registrado es obtenido vía importaciones<sup>12</sup>.

Estas regulaciones establecen las actividades de ejercicio exclusivo del Estado Mexicano por mandato constitucional, las correspondientes a los gravámenes aplicables a la comercialización en el territorio nacional y la importación de los combustibles derivados del petróleo (gasolinas y diesel), los apoyos otorgados para el consumo de los combustibles en las actividades agropecuarias, el proyecto sobre el desarrollo de los bioenergéticos, así como las

---

<sup>9</sup> Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/77.pdf>

<sup>10</sup> Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://sagarpa.gob.mx/Dgg/ley/Lener.pdf>

<sup>11</sup> Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/conae/resources/localcontent/4506/2/leybioenergéticos.pdf>



especificaciones presentes y futuras que deberán cumplir todos los energéticos obtenidos de fuentes fósiles, los cuáles se emplean tanto en las fuentes fijas (industria y servicios) como en las móviles (vehículos a gasolina y a diesel, combustibles para aviación y otros).

Teniendo en cuenta la legislación que hay en México para los energéticos es necesario conocer cual es la cantidad de MTBE que se ocupa en la actualidad y cual seria la requerida de Et-OH en cualquiera de los dos escenarios que se plantean.

### ***II. 5 Demanda de gasolinas y aditivos (MTBE, ETBE y Et-OH)***

Para la gasolina PEMEX Magna de las Zonas Metropolitanas, la oferta pasó de 176 Miles de Barriles por Día (MBD) en 2000 a 197.4 MBD en 2005 (un barril equivale a 42 galones o 159 litros), asumiendo un contenido promedio máximo de oxígeno de 1.5 por ciento en peso, correspondería a una demanda de MTBE del orden de 14.6 a 16.4 MBD, respectivamente.

Para la PEMEX Premium, la demanda pasó de 39.1 en 2000 a 78.2 MBD en 2005, lo que requirió para su formulación en términos de MTBE de 3.3 a 6.6 MBD, respectivamente.

En suma la demanda nacional de compuestos oxigenados para atender los requerimientos especificados pasó de 17.9 a 23.0 MBD, lo que representa un incremento de 28.5 por ciento. La capacidad de producción de éteres (MTBE + TAME) en el Sistema Nacional de refinación (SNR), fue de 15.6 MBD, lo que da como resultado para el año 2005, un déficit de cerca de 7.4 MBD.

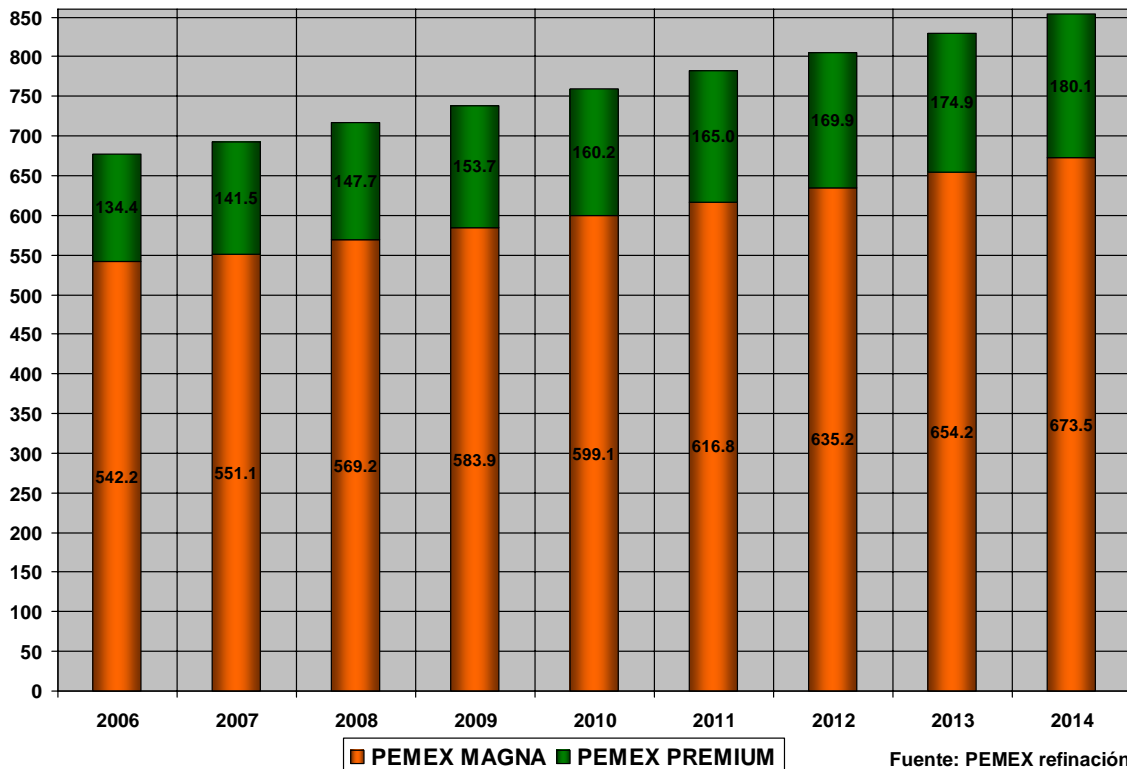
---

<sup>12</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesnormas>

En la Figura 8 podemos ver cual es el estimado de gasolina que demandara México en el periodo comprendido entre el 2006-2014, esto nos ayudara a tener más claro que cantidad de oxigenante (ETBE) se necesitara para satisfacer la demanda de gasolinas.

La capacidad de producción nacional del MTBE y del TAME, es del orden de 15.6 MBD. En términos de requerimientos de alcohol para su obtención (en la actualidad se usa metanol), se demandan de 0.3 a 0.4 barriles por cada barril de éter, por tanto, el suministro de metanol diario es del orden de 6,240 barriles. La demanda de compuestos oxigenados se ubicó el año pasado en el orden de 23 mil barriles por día (MBD), situación que se tradujo en déficit de cerca de 8 MBD, los cuáles se suministraron vía importaciones.

**Figura 8. Evolución de las Ventas Internas de Gasolinas, 2006 – 2014 (Cifras en MBD)**



Petróleos Mexicanos (PEMEX), Dirección Corporativa de Operaciones. *Evaluación del uso de etanol para la producción de gasolinas*. Enero 2006. <http://www.pemex.com>

En la Tabla 8 se enlistan las refinerías mexicanas y su capacidad de producción de MTBE y TAME, de esta manera sabemos cuantos MBD de oxigenantes a partir de Met-OH tenemos, esto nos da una idea de la cantidad de ETBE y TAEE que deberá producirse a partir del Et-OH para cumplir con la oxigenación de las gasolinas.

**Tabla 8. Refinerías mexicanas**

Refinería	MTBE	TAME
Cadereyta	2.9	0.0
Madero	2.5	2.3
Minatitlán	0.0	0.0
Salamanca	1.1	0.0
Salina Cruz	0.7	1.5
Tula	2.3	2.3
Total	9.5	6.1

Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

La producción de éteres para oxigenación de gasolina en México es realizada en seis plantas instaladas en refinerías de PEMEX, con las capacidades nominales indicadas en la Tabla 8, que suman 15.6 MBD como MTBE y TAME. Asumiendo una eficiencia de operación de 92%, sería posible la producción de 14.4 MBD de MTBE + TAME. En la actualidad esas plantas producen cerca de 10.6 MBD, operando a aproximadamente 70% de su capacidad nominal, por limitaciones de disponibilidad de corrientes de materia prima desde las unidades catalíticas de las refinerías. En la Tabla 9 se presentan las materias primas utilizadas y los productos de esas plantas, en una configuración de volúmenes representativa para 2005 (PEMEX, 2005). Estas plantas eventualmente podrían ser adaptadas para utilizar Et-OH en sustitución al Met-OH, pasando a producir en ese caso ETBE y TAEE.

**Tabla 9. Materias primas y productos utilizados**

Materias primas		Productos	
Metanol	2.6 MBD	MTBE	6.6 MBD
Butanos y butilenos	39.8 MBD	TAME	4.2 MBD
Pentanos	15.0 MBD		

Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

Se analizó la producción de Et-OH a partir de la caña de azúcar, cuya tecnología se encuentra desarrollada. Con base en criterios de selección como: disponibilidad de una tecnología madura, costos, necesidades de inversión, superficie requerida, índice de energía neta y emisiones y mitigación de gases de efecto invernadero se seleccionó a la caña de azúcar como el cultivo más promisorio e inmediato.

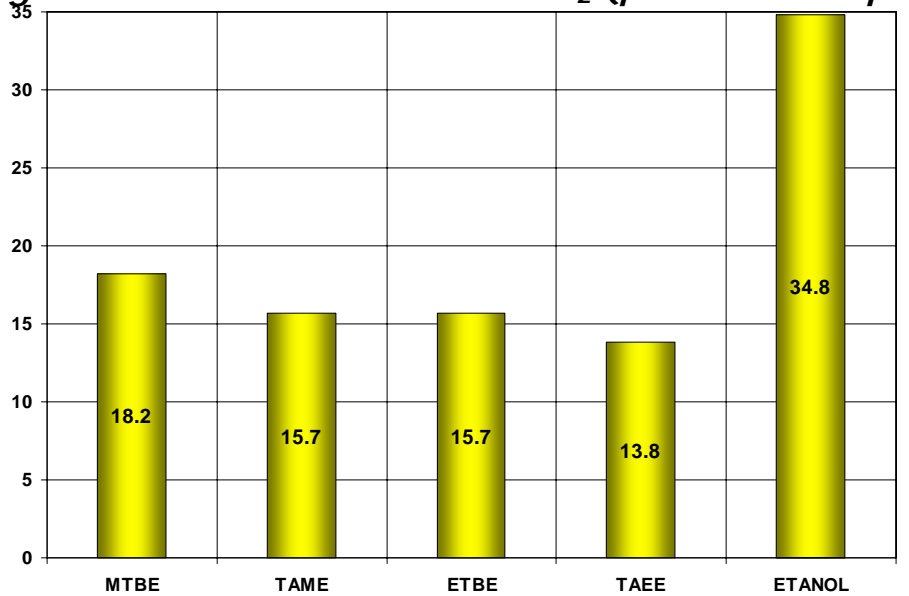
La meta sería producir 411.9 miles de m<sup>3</sup> (2.59 millones de barriles al año) de Et-OH el cual se obtendría principalmente de mieles de caña de azúcar y se dirigiría a reemplazar al Met-OH en los éteres producidos en el mercado nacional (MTBE y TAME) para fabricar ETBE y TAEE.

En la Figura 9 se muestra el contenido máximo de oxigenantes (por ciento en peso) para la formulación de gasolinas. De esta grafica podemos observar como la cantidad requerida de ETBE y TAEE para la oxigenación de las gasolinas es menor, pero su peso molecular es mayor. Teniendo esto en cuenta podemos ver que la cantidad requerida de estos oxigenantes es menor que la utilizada actualmente (MTBE).

Debido a que el caso que nos interesa es el de la sustitución del MTBE y TAME por el ETBE y TAEE vía Et-OH, la Figura 10 nos ayuda mucho para saber que cantidad de alcohol se requiere para la producción de un barril de cada uno de estos oxigenantes. En la conversión de las unidades de producción de MTBE para ETBE, asumiéndose que se mantenga la demanda del principal componente, butileno, para igual rendimiento de conversión se debe observar un incremento de

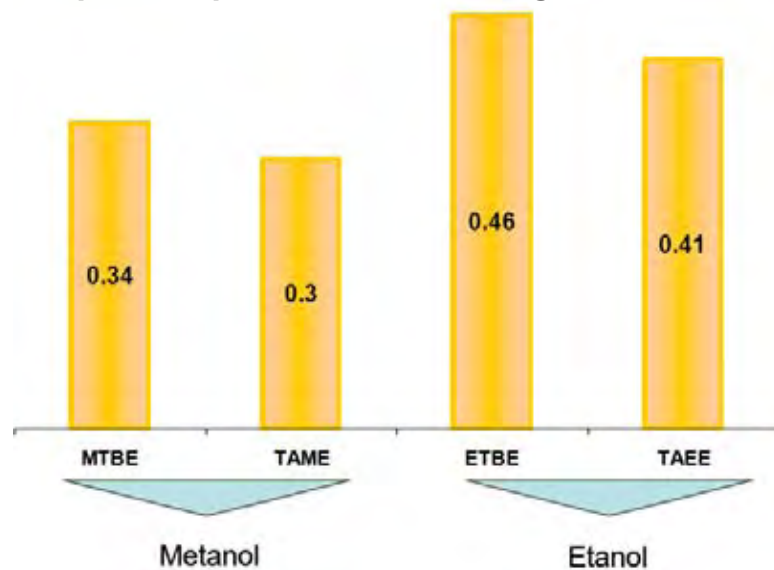
aproximadamente 15% en la capacidad volumétrica de producción de éteres. Pero un contenido 14% más bajo de oxígeno en el ETBE (en comparación con el MTBE), hace ambas corrientes semejantes, en términos de capacidad oxigenante.

**Figura 9. Contenido máximo de  $O_2$  (por ciento en peso)**



Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

**Figura 10. Cantidad de alcohol que se requiere para la producción de oxigenantes**



Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

Considerando el nivel promedio de contenido de oxígeno en 1.5 y 2.0 por ciento en peso, el requerimiento de compuestos oxigenados, estimado con base al MTBE (expresado en términos de ETBE) que es el producto más ampliamente ofertado en el mercado tenemos la Tabla 10, donde se aprecia claramente la proyección requerida para los dos escenarios, tanto la cantidad del oxigenante como la cantidad del alcohol prevista por la SENER considerando que para producir cada barril de éstos éteres se requieren 0.46 y 0.41 barriles del alcohol, respectivamente.

**Tabla 10. Requerimiento de oxigenantes en gasolina y proyección**

Oxigenante	% oxigenación	Demanda esperada en MDB		
		2008	2010	2014
ETBE y TAE	1.5	28.5	32.6	36.7
	2.0	37.7	43.2	48.6
ETANOL	1.5	13.1	15.0	16.9
	2.0	17.4	19.9	22.4

Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

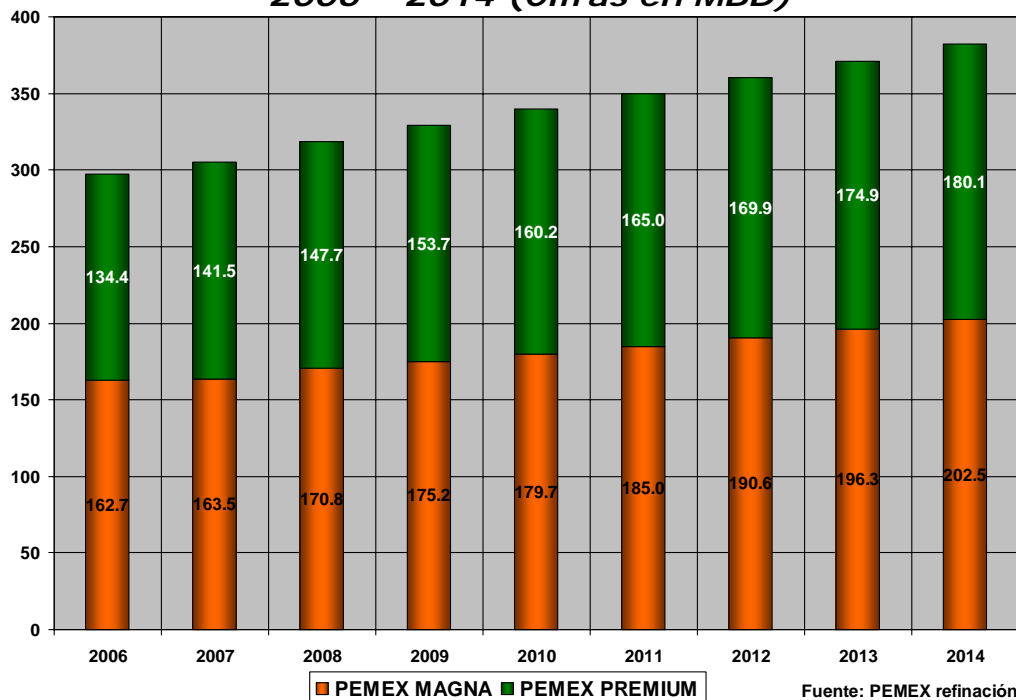
Para alcanzar un contenido de oxígeno de 2% en peso en la gasolina, se requiere la mezcla con 11% de MTBE o 12.5% de ETBE o 5.7% de Et-OH en volumen. La demanda específica de Et-OH en la producción de ETBE es adoptada como 0.43 m<sup>3</sup> (2.7 barriles) de Et-OH por m<sup>3</sup> (6.3 barriles) de ETBE, valor determinado a partir de la estequiometría de las reacciones químicas involucradas.

Los niveles de mezcla de Et-OH considerados, no muestran variaciones sensibles en el consumo específico vehicular y consecuentemente el contenido de energía útil será admitido constante. En otras palabras, la utilización de Et-OH no afecta la demanda de gasolina al nivel de usuario.

La estimación del requerimiento de Et-OH depende de la capacidad nacional de producción de éteres (oxigenantes) y Et-OH en México. No obstante que en la actualidad la producción mexicana de MTBE y TAME opere a aproximadamente 70% de su capacidad nominal por falta de carga de las unidades catalíticas, se asume que puede operar a plena capacidad al utilizar Et-OH como materia prima.

Considerando la capacidad total existente para producción de MTBE en las seis plantas de PEMEX, 15.6 MBD, y suponiendo una eficiencia de operación de 92%, sería posible una producción de 14.4 MBD de MTBE o una 16.5 MBD de ETBE, con igual capacidad oxigenante, cerca de la mitad de las necesidades de México estimadas para 2005. De ese modo, el ETBE producido en las plantas de PEMEX operando sin restricciones se podrían agregar aditivos al 47.5% de la gasolina mexicana actualmente oxigenada, o sea, 130.9 MBD, al nivel de 2% de oxígeno. La demanda de Et-OH para la producción de ETBE sería de 411.9 mil m<sup>3</sup> (2.59 millones de barriles) de Et-OH por año. En este caso la demanda de gasolina se reduce proporcionalmente debido al volumen más alto de componente requerido, o sea, para mantener el mismo nivel de oxigenación, la utilización de ETBE desplazando el MTBE promueve una reducción de 1.5% en la demanda de gasolina. Por supuesto esa reducción ocurre solamente en las gasolinas al agregar aditivo con ETBE, significando para valores de 2005 una reducción de 1.96 MBD en las necesidades de gasolina por ese efecto.

**Figura 11. Evolución de las Ventas Internas de Gasolinas, 2006 – 2014 (Cifras en MBD)**



Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

Como puede observarse en la Figura 11 el déficit de compuestos oxigenantes que se presentaría en el período bajo estudio se ubicaría entre los 13 y los 33 MBD, según sea el contenido de oxígeno empleado en la formulación de las gasolinas, cantidades que serían abastecidas por medio de importaciones de MTBE y/o de ETBE. Éste último es una de las alternativas que están siguiendo los refinadores en el entorno mundial, al considerarse dentro de los combustibles renovables por el empleo del bioetanol en su producción.

**Tabla 11. Balance de oxigenantes demandados (MBD)**

Concepto	% de O <sub>2</sub>	2006	2010	2014
Producción de ETBE	1.5	15.6	15.6	15.6
Demanda		28.5	32.6	36.7
Déficit		12.9	17.0	21.1
Producción de etanol		13.1	15.0	16.9
Producción de ETBE	2.0	15.6	15.6	15.6
Demanda		37.7	43.2	48.6
Déficit		22.1	27.6	33.0
Producción de etanol		17.4	19.9	22.4

Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*

Para satisfacer la producción nacional de ETBE y TAAE; considerando que para producir cada barril de éstos éteres se requieren 0.46 y 0.41 barriles del alcohol, respectivamente, serán necesarios los volúmenes de Et-OH que se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 12. Valores de la mezcla de compuestos oxigenados**

Producto	Valor de la mezcla	
	Octano	PVR (PSI)
MTBE	110	8
TAME	105	2
ETBE	111	4
TAAE	100	2
Etanol	115	18

El PVR (Presión de Vapor Reid) corresponde a un contenido de oxígeno de 2.7 por ciento en peso en la gasolina  
Petróleos Mexicanos (PEMEX), *Op. cit.*



En la Tabla 12 se puede observar que si bien el Et-OH presenta un valor de octano de mezclado superior a los éteres, pero en términos de PVR éste muestra datos de más del doble con respecto al MTBE, de 9 veces para el TAME y TAE; así como de más de 4 veces para el ETBE, lo que hace necesario reducir en este parámetro la base que se utilice para su mezcla para poder así cumplir con la especificación vigente en cada caso, teniéndose el mayor impacto cuando el valor de la PVR está fijo como es el caso de Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

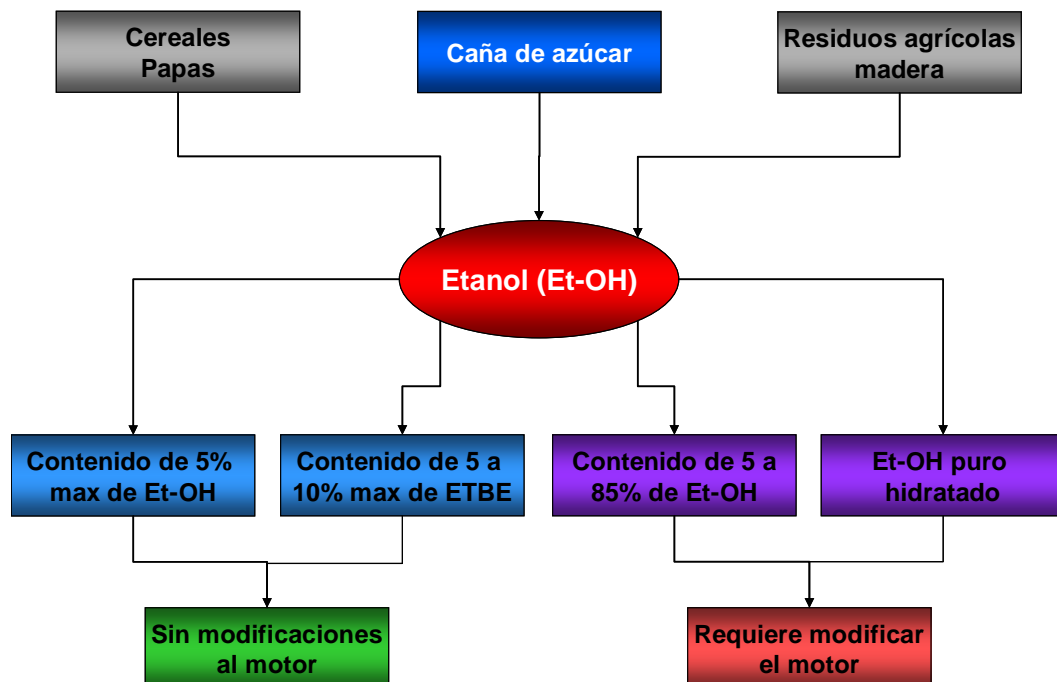
Ahora que se tienen todos estos datos se sabe que la cantidad requerida de Et-OH es grande y se espera que se incremente junto con la demanda de gasolinas. El problema ahora es de dónde se va a obtener todo ese alcohol.

### III. OBTENCIÓN DEL ETANOL

#### III.1 Fuentes de obtención del Et-OH

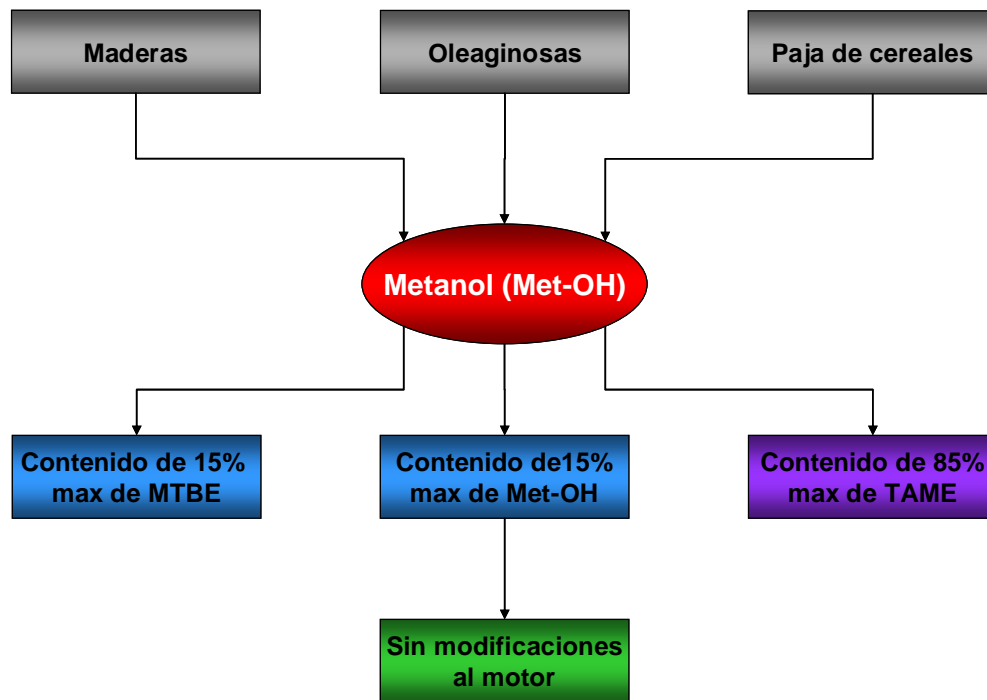
Las posibles fuentes de obtención del Bioetanol y el porcentaje máximo que se ocupa en la mezcla de gasolinas sin tener que modificar los motores de los automóviles usados en la actualidad se muestran en la siguiente figura 12.

Figura 12. Obtención de Et-OH



Como se puede observar en la Figura 13 la diferencia en las fuentes de obtención del biometanol y el porcentaje máximo que se puede ocupar de éste en la mezcla de gasolinas, sin la necesidad de modificar el motor de los automóviles usados en la actualidad.

**Figura 13. Obtención de Met-OH**



Los alcoholes contienen una cadena de hidrocarburos con un radical OH unido a un átomo de carbono. En cambio los éteres son productos orgánicos derivados de los alcoholes, los cuales contienen un átomo de oxígeno con dos grupos alquilo.

Los principales productos posibles clasificables como "oxigenados", que son líquidos a temperatura ambiente son:

- El Met-OH:  $\text{CH}_3\text{-OH}$  y el Et-OH:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$
- Otros alcoholes simples
- El alcohol terbutílico (TBA)

- Los éteres: etilterbutiléter (ETBE), metilterbutiléter (MTBE) o el metilteramiléter (TAME).

Como se ha visto hasta ahora la obtención de los alcoholes es un punto medular en el tema de sustitución del MTBE de las gasolinas. Por esta razón, la forma de obtención de este combustible o agente oxigenante debe captar nuestra atención y es por ello que se debe conocer cómo se obtiene.

El Met-OH y el Et-OH son los únicos alcoholes que pueden ser obtenidos a partir de la biomasa y como lo que se busca es una fuente de energéticos renovables, esta es una excelente opción.

Para México es simple decidir cual será el cultivo energético más probable a partir del cual se obtendrá el Et-OH, pues tiene limitantes en el uso del maíz (aparte de que el rendimiento es muy bajo), ya que se considera a México como quien brindó el maíz al mundo y sería mal visto entre muchos sectores sociales utilizarlo como cultivo energético. De forma tal que la opción para producir Et-OH en México recae sobre la caña de azúcar únicamente.

El Et-OH se puede obtener por síntesis o por fermentación, pero en el caso de utilización del Et-OH como carburante, el método más razonable es por fermentación. El proceso básico es la fermentación alcohólica de los azúcares de la materia vegetal.

La producción del Et-OH implica disponer de biomasa leñosa residual o cultivable o bien, de la producción masiva de vegetales ricos en azúcares y/o almidón. Por lo tanto, se pueden obtener de diversas fuentes, como las siguientes:

- Materias ricas en almidón, como los cereales (maíz, trigo, cebada...) y los tubérculos (yuca, camote, papa, malanga...).

- Materias ricas en sacarosa, como la caña de azúcar, la remolacha, etc.
- Materias ricas en celulosa, como la madera y los residuos agrícolas.

El 40% del Et-OH en el mundo es producido a partir de cereales, aunque en los últimos 5 años las nuevas plantas construidas únicamente utilizan esta materia prima. En EEUU se utiliza el maíz y la soya; en Europa el trigo, la cebada, el centeno y el alcohol vínico.

Se requiere conocer el proceso de la extracción de Et-OH a partir de la caña de azúcar debido a que esta es la que da el mayor rendimiento por hectárea cultivada. Este proceso consta de las siguientes etapas:

1. Molienda
2. Extracción del azúcar
3. Producción de azúcar bruto
4. Fermentación de melaza
5. Destilación
6. Desnaturalización

En el caso de la obtención a partir de cereal, se utilizaría el proceso anterior, más una última fase de hidrólisis del almidón, convirtiéndose en glucosa y, a partir de ésta, por fermentación anaeróbica, se produce el Et-OH.

Existe un proceso de producción de Et-OH a partir de biomasa lignocelulósica<sup>13</sup> (leñosa), el cual no está implantado en el ámbito industrial. El interés de este proceso es debido a que la materia prima es más barata que los cereales, existen posibilidades de reducir más los costos mejorando los cultivos, no se compite en el mercado alimentario y es un recurso muy extendido.

---

<sup>13</sup> Foro: Etanol, Caña de Azúcar y Energía: PEMEX Refinación, *Etanol de origen agrícola como oxigenante para combustible*, CANACINTRA Xalapa, Veracruz, 24 de noviembre de 2005.

La producción de Et-OH por fermentación de materia orgánica, o también llamado bioetanol, necesita de energía de baja calidad para generar la cantidad necesaria para el proceso. Esta condición la cumple muy bien la caña de azúcar donde la energía del proceso se genera por la combustión del bagazo (sólidos residuales de la caña de azúcar), pero en el caso del cereal es imprescindible la utilización de energías externas (gas natural en Europa) y también procurar el aprovechamiento de los flujos internos de energía.

### ***III.2 Industria de la caña de azúcar***

Se debe tener en cuenta la situación actual de la industria cañera para poder hablar de qué es lo que se debe hacer para obtener la cantidad de Et-OH necesaria para satisfacer la demanda nacional.

La producción de azúcar en México es delicada, su producción se concentra ampliamente en unos cuantos estados, donde muchos pequeños productores dependen de la producción de la caña de azúcar. En los últimos años se ha tenido el problema de engrosar peligrosamente los inventarios nacionales, al grado de que el precio se desplome o se generen despidos masivos en el sector. Dada esta situación se plantea la necesidad de promover la generación de nuevos productos derivados de la caña de azúcar (Et-OH).

En la Tabla 13 se aprecian cuáles son las principales regiones y estados productores de caña de azúcar dentro del territorio nacional, es en estos lugares donde se ubican los ingenios azucareros con los que se cuenta para la producción del Et-OH. La superficie actual de cosecha de caña es de 657,000 ha las cuales producen 50,893 ton de caña con un valor de 20,025 millones de pesos<sup>14</sup>.

**Tabla 13. Productores de caña de azúcar**

Región agrícola	Zona	Cultivos
Occidente	Sur de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, sur de Michoacán y Colima	Maíz, caña de azúcar, aguacate y agave tequilero
Huastecas	Limites de estados vecinos de Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo y Querétaro	Maíz, caña de azúcar y café
Golfo centro	Veracruz centro	Caña de azúcar, café y cítricos
Cuenca del Papaloapan	Sur de Veracruz y noreste de Oaxaca	Maíz y caña de azúcar
peninsular	Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco	Maíz, cacao, caña de azúcar y cítricos

SAGARPA. <http://sagarpa.gob.mx>

Con el potencial para producción de Et-OH, existen en México ya 58 ingenios azucareros, procesando la caña cosechada en 657 mil ha y se producen aproximadamente 50,893 toneladas de azúcar por año. Una parte de estos ingenios posee destilerías, con una capacidad instalada para producir anualmente cerca de 167 mil m<sup>3</sup> (1,050,314 barriles) de Et-OH de todos los tipos, incluyendo 33 mil m<sup>3</sup> (207,547 barriles) de Et-OH anhidro. En los últimos años la producción de Et-OH es declinante, con un volumen de 39 mil m<sup>3</sup> (245,283 barriles) producidos en la zafra 2004/2005, a partir de miel residual de la producción azucarera. Considerando la producción de miel en los ingenios mexicanos y una productividad de 8.8 litros de Et-OH por tonelada de caña procesada, podrían ser producidos cerca de 400 mil m<sup>3</sup> (2,515.713 barriles) de Et-OH al año.

La meta es hacer competitiva esta forma de producir Et-OH, dentro de los próximos seis años. El etanol obtenido de la celulosa será comercializado dentro del lapso mencionado. Así tendremos la posibilidad y el potencial, para sustituir más del 30% de las actuales importaciones de los combustibles que ahora se realizan.

Los canales de mercadeo y distribución de la caña son directos del productor al ingenio, no hay intermediarios, mediante la organización de la cosecha por el

<sup>14</sup> SAGARPA. <http://sagarpa.gob.mx>

Comité de producción cañera, que es quien hace la programación de la zafra. En cuanto al producto final, el azúcar, los canales de mercadeo y distribución son por lo general a través de 4 ó 5 grandes empresas comercializadoras a nivel nacional asentadas en las plazas de la ciudad de México (Central de abastos), Guadalajara, Puebla, Monterrey en donde venden el azúcar los ingenios o sus corporativos, que son quienes la comercializan.

Es claro el imperativo de generar tecnologías específicas, ya que, en México y probablemente en otros países tropicales, se ha trabajado poco en esto. Por ejemplo, las épocas de corte se dan de acuerdo con los indicadores de madurez industrial de la caña, es decir, de su acumulación de sacarosa y disminución de azúcares reductores y de humedad. Sin embargo, cuando la caña se va a destinar a producir Bioetanol procesando sus jugos, nos interesa la glucosa y la sacarosa, fermentan prácticamente igual y en tal virtud, la madurez de la caña para nuestros propósitos será determinada de manera diferente. Tomando en cuenta lo anterior, nos interesa producir mucha biomasa con su glucosa y cosecharla en menos tiempo, en lo cual tendrá una influencia determinante, la fertilización balanceada, con acento en el nitrógeno. He aquí oportunidades para el abatimiento de costos de caña para Bioetanol. Otra vertiente está representada por el aprovechamiento cabal de la biomasa producida, a través de la cosecha de caña integral y por supuesto sin quemar: verde o cruda, lo cual representa obtener aproximadamente el 30% más de biomasa que cuando se cosechan sólo tallos, la obtención de Bioetanol en un futuro se apoyará en el procesamiento de celulosas y azúcares.

La producción de Et-OH, principalmente a partir de melazas de caña de azúcar, es una práctica bastante conocida en México, utilizada mayormente para producir bebidas. Para esa finalidad, diversos ingenios mexicanos poseen destilerías, pero no necesariamente operando tales unidades en todas las zafras. El Estado de Veracruz es la región productora más importante, con 37% de las 58 plantas azucareras mexicanas y 39% de la producción de azúcar.



La capacidad de procesamiento diario de esas plantas varía entre 2,200 a 20,000 toneladas, con un promedio de 6,680 toneladas. En términos de capacidad anual de procesamiento, 75% de los ingenios mexicanos presentan capacidades superiores a 80 mil toneladas y 17% procesan menos que 40 mil toneladas al año. Cerca de la mitad de la capacidad total de la agroindustria cañera mexicana se encuentra en manos privadas, con 27 ingenios bajo administración gubernamental<sup>15</sup>.

**Tabla 14. Capacidad instalada y producción de etanol en la zafra de 02/03 los ingenios de México**

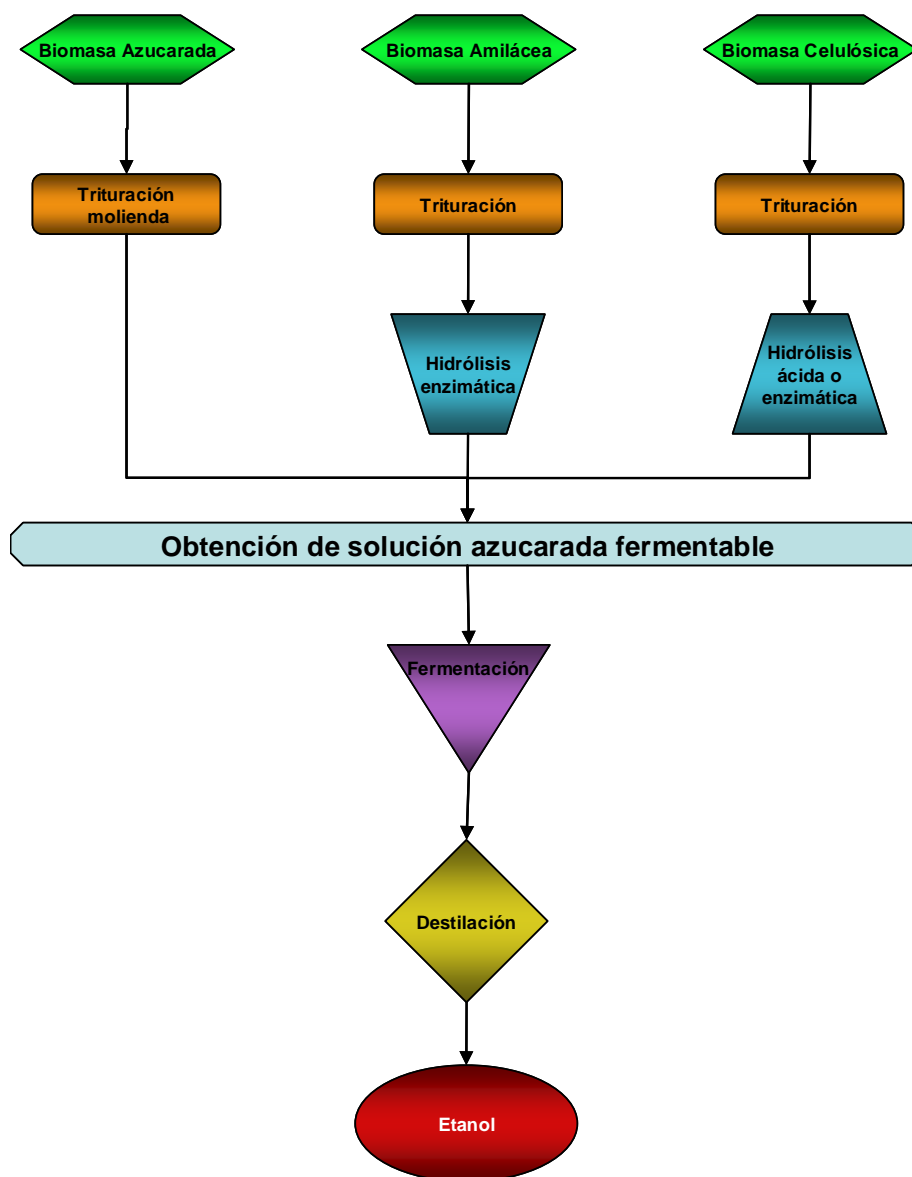
Capacidad instalada			Zafra 2003		
Ingenio	Litros/día	Litros/zafra	Miel producida	Miel para etanol (t)	Etanol producido (l)
Aaron Sáenz	28,500	8,550,000	39,756	21,028	4,948,000
Calipam	8,000	2,400,000	8,531	4,194	99,261
Constancia	30,000	9,000,000	21,675	21,248	4,997,400
El Carmen	18,000	5,400,000	19,815	11,872	2,923,000
El Mante	24,000	7,200,000	32,811	19,654	5,082,300
Independencia	15,000	4,500,000	7,845	4,743	1,250,908
La joya	14,000	4,200,000	11,637	6,409	1,307,000
La providencia	25,000	7,500,000	20,322	8,653	1,818,471
Pujiltilic	20,000	6,000,000	49,380	14,122	3,373,004
San José de abajo	25,000	7,500,000	15,048	4,384	1,118,000
San Nicolás	40,000	12,000,000	14,800	10,973	2,547,683
San Pedro	25,000	7,500,000	27,341	13,140	3,206,000
Tamazula	25,000	7,500,000	42,463	27,000	5,643,750
Total	297,500	89,250,000	311,425	167,384	39,205,777

SAGARPA. <http://sagarpa.gob.mx>

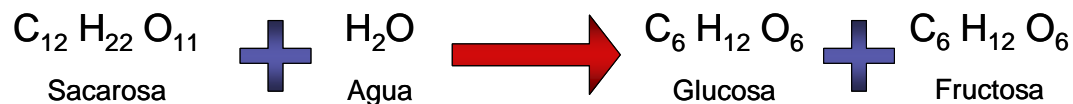
### III.3 Proceso de obtención del ET-OH

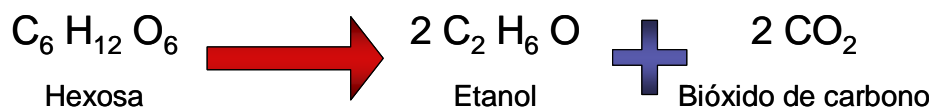
Para finalizar con la parte correspondiente a la industria de la caña de azúcar se debe conocer brevemente los procesos existentes para la obtención del Et-OH. A continuación se muestra un esquema en el cual se incluyen los tres métodos por medio de los cuales se puede producir el ET-OH a partir de la caña de azúcar.

<sup>15</sup> *Op. cit.*

**Figura 14. Obtención de solución azucarada fermentable**

Esencialmente dos reacciones son necesarias para convertir la sacarosa en Et-OH: una hidrólisis de la sacarosa, con producción de hexosas y la fermentación alcohólica, con auxilio de levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*, como se indica en las expresiones siguientes:





De hecho, en los ingenios, la sacarosa de la caña puede ser convertida en azúcar de diversos grados de calidad, pero en el proceso de fabricación siempre una fracción del azúcar se invierte, degradándose en azúcares más sencillos, las hexosas, que constituyen las mieles o las melazas y pueden dar origen a mostos fermentables y luego, a Et-OH.

Para incrementar la producción de Et-OH, se puede desviar progresivamente más jugo de caña hacia la producción de Et-OH, hasta la situación en que no se produce ningún azúcar sólido. Para condiciones así y considerando el contexto de los ingenios mexicanos, a partir de una tonelada de caña con 13 a 14 % de sacarosa se estima obtener de 75 a 80 litros de alcohol anhidro

### ***III.4 Ventajas y desventajas***

Las mezclas de Met-OH o Et-OH (u otros compuestos oxigenados como son el MTBE o el ETBE) con gasolina convencional, se usan en porcentajes más pequeños (5 al 15 %). En Europa se admiten hasta un 5 % de oxigenados en la gasolina comercial sin plomo. Actualmente se está sustituyendo la mezcla de MTBE por ETBE, debido a su origen vegetal y a su mayor porcentaje de degradabilidad.

Para las mezclas de Et-OH en porcentajes comprendidas entre 15 y 85 %, son necesarias modificaciones apreciables en el vehículo con respecto a uno de gasolina (se debe modificar el motor).

Se pueden encontrar diferentes presentaciones de oxigenantes basados en Et-OH, como son:

- Gasolinas oxigenadas. Contiene como máximo un 15 % de Et-OH; por lo tanto, no son necesarias las modificaciones en el motor.
- Gasohol. Se pueden encontrar dos vertientes; la primera con mezclas hasta de un 10 % (E10) y la segunda con mezclas de hasta un 100 % de Et-OH (requiere motores adaptados).
- ETBE. Producto muy similar a la gasolina, el cual se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. Se utiliza en motores en concentraciones hasta de un 15 %. Dicha adición sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando así la adición de sales de plomo.
- MTBE. Producto de la reacción del isobuteno (derivado del petróleo, no renovable) y del Met-OH. Este es un componente muy habitual de las gasolinas sin plomo.
- TAME. Compuesto por la reacción entre metano e isopenteno. Se utiliza con un máximo del 85% en gasolina.
- E100/E95. ET-OH casi puro (deshidratado o hidratado respectivamente). Se puede utilizar en motores especialmente adaptados. Para motores diesel se utiliza el Et-OH puro anhidro con aditivos especiales.

La principal ventaja de estos combustibles radica en su origen. Los oxigenantes provienen mayoritariamente de la biomasa, la cual ha extraído parte del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se podría liberar en la atmósfera. Por eso, la utilización de estos oxigenantes no reporta un aumento neto de dióxido de carbono de la atmósfera, de manera que contribuye a minimizar el efecto de los gases invernadero.

Asimismo la producción de biocombustibles supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que están siendo abandonadas por los agricultores.

En la Tabla 15 se muestran las principales características de combustibles, el Et-OH y el Met-OH, considerando que se utilizará cada uno como combustible para los automóviles actuales; de acuerdo a lo anterior, se requeriría la modificación del motor para los casos de Et-OH y Met-OH.

**Tabla 15. Principales características de combustible**

PROPIEDAD	Gasolina	Metanol	Etanol (anhidro)	UNIDAD
Formula química	$C_{7.18}H_{13.1}O_{0.1}$	$CH_4O$	$C_2H_6O$	-
Masa molar	0.0992	0.032	0.046	kg/mol
Estado	Líquido	Líquido	Líquido	-
Poder calorífico inferior	43.53 - 32,020	19.94 - 15,870	26.80 - 21,285	MJ/kg - MJ/m <sup>3</sup>
	10,398.95 - 7,649,307.21	4,763.50 - 3,791,208.79	6,402.29 - 5,084,806.81	kcal/kg - kcal/m <sup>3</sup>
	10.40 - 7,649.31	4.76 - 3,791.21	6.40 - 5,084.81	Termias/kg - Termias/m <sup>3</sup>
Densidad	705 - 770	796	794	kg/m <sup>3</sup>
Densidad relativa	0.705 - 0.770	0.796	0.794	-
Número de metano	25 - 40	70	70	-
Número de octano	90 - 100	120	120	-
Número de cetano	-	0 - 3	5	-
Temperatura de autoignición	500	470	423.8	°C
Punto de ebullición	30 - 205	64.7	78.3	°C
Dosado estequiometrico mas.	14.19	6.48	9.02	kg <sub>aire</sub> /kg <sub>combustible</sub>
Dosado estequiometrico vol.	8863.51	4353.912	6045.311	m <sup>3</sup> <sub>aire</sub> /m <sup>3</sup> <sub>combustible</sub>
Densidad mezcla combustible/aire	1.268	1,367	1,316	kg/m <sup>3</sup>
Limites de inflamabilidad	1 - 7.6	6.7 - 36	4.3 - 19	% (vol)
Consumo especifico habitual inferior	295.95	646.19	480.58	g/kwh
Consumo especifico habitual superior	360.29	786.67	585.05	g/kwh
Emisiones de CO <sub>2</sub> (teóricas)	271.87	248.76	257.4	g/kwh

Tesis de *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte*. Barcelona, España.

Hasta este momento se ha hecho mención de los alcoholes, pero deben conocerse también de los éteres derivados de estos alcoholes. Que sirvan para la sustitución del MTBE y el TAME, debido a que son los agentes oxigenantes que deseamos sustituir, pero sí es importante mencionar cómo se obtienen.

El MTBE es un oxigenante para la gasolina que representa el primer paso de las refinerías de petróleo, posee un índice de octano elevado, un éter tolerante al agua que se obtiene de la mezcla de isobutileno y el Met-OH (suministrado de fuentes externas a la refinería). En la actualidad, el isobutileno es extraído principalmente del "cracking" del vapor para la fabricación del etileno.

En conjunto con el MTBE, se ha utilizado otro oxigenante: el teramilmetileter (TAME), el cual, al igual que el MTBE se ha empleado para incrementar el octanaje de la gasolina y disminuir sus emisiones. Se produce por la combinación de olefinas de 5 carbonos y Met-OH (2-metil-2-buteno y 2-metil-1-buteno + Met-OH). La desventaja es que actualmente en varios países, principalmente en Estados Unidos se ha catalogado como riesgo 4, riesgo a la salud y riesgo ambiental.

El ETBE es un éter que sirve como oxigenante; puede ser mezclado con la gasolina para hacer que se queme más limpiamente y así mejorar la calidad del aire. Es producido al mezclar el Et-OH con el isobutileno y haciéndolos reaccionar con calor sobre un catalizador. La promesa de ETBE consiste en que esto elimina muchos de los impedimentos históricos al empleo de una mayor cantidad de Et-OH (la volatilidad aumentada de gasolina e incompatibilidad con tuberías de gasolina). Esto permitiría a ETBE para ser usado en el nivel de refinería y transportado a áreas que antes no habían sido capaces de utilizar el Et-OH.

El ETBE logra reducir el impacto a la salud ocasionado por el combustible, debido a que se puede utilizar butano en exceso en el proceso de refinación para retirar progresivamente el plomo (lo cual es una ventaja). El butano puede ser convertido a isobutileno que, cuando es combinado con el Et-OH, nos da como resultado el ETBE.

De la misma manera que el ETBE es un oxigenante para la gasolina, más efectivo que el MTBE y hecho a partir del Et-OH, así también el teramileter (TAEE) es un sustituto del TAME. Este se obtiene de la misma forma que el TAME, solamente que en lugar de usar Met-OH se usa Et-OH. Al igual que el ETBE mejora y da mayor estabilidad en la gasolina, incrementa el octanaje y puede ser utilizado sin la necesidad de grandes modificaciones a los motores.

Para comprender mejor lo anteriormente mencionado y la Tabla 15 se necesita saber a que se refieren algunas de sus propiedades y el porqué de su importancia. A continuación se explicaran algunas de sus propiedades más importantes:

- Densidad. Determina la cantidad de materia contenida en un volumen determinado y da una idea del contenido en energía que posee el combustible. Mayores densidades indican más energía almacenada por unidad de volumen, factor que junto con el consumo específico, afecta directamente a la autonomía del vehículo.
- Contenido energético. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor desprendido por el mismo en su combustión teórica y completa, en condiciones normales. A partir de su análisis se puede comparar el contenido energético entre los diferentes combustibles. El Met-OH y el Et-OH, tal y como se puede visualizar, presentan un bajo poder calorífico en relación a los hidrocarburos que forman la gasolina, esto es debido a la presencia de oxígeno en su formulación.
- Dosis estequiométrica. Es la relación entre la cantidad de aire y la de combustible necesario para que se produzca una combustión completa, sin que falte ni sobre comburente.
- Consumo específico. Nos indica cuál es el consumo que tendrá el motor para producir un kwh de energía. Como se puede apreciar en la Tabla 16 dentro de los alcoholes, el Met-OH necesitaría un depósito de doble capacidad de almacenamiento que uno que contuviese gasolina.

**Tabla 16. Características de los combustibles**

Combustible	Consumo específico medio (g/kwh)	Volumen / kwh	Estado del combustible
Gasolina	328,12	0,44	Líquido
Etanol	532,81	0,67	Líquido
Metanol	716,43	0,9	Líquido

Tesis *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte*. Barcelona, España.

- Número de octano. Indica la resistencia a la detonación de los combustibles que se utilizan en los motores, cuanto mayor es este índice más controlada está la combustión de la mezcla y menos posibilidades hay de producirse autoignición en el cilindro. El número de octano está asociado con la Relación de Compresión (RC) definida como el cociente entre los volúmenes de la cámara de combustión, más el del cilindro y el volumen de éste (A mayor RC, mayor índice de octano). Por lo tanto, si se tiene en cuenta que los motores de encendido de chispa (ciclo Otto) tienen limitada su relación de compresión (8,5 a 1 y 10,5 a 1) debido a la tendencia a la detonación de los combustibles, un mayor número de octano aumenta el rendimiento. Cabe destacar que si se utiliza un combustible con un número de octano menor al adecuado (según la relación de compresión del motor en el que se utilice) se produce la detonación o pre-encendido de la mezcla. Este fenómeno provoca una expansión brusca y descontrolada de la mezcla, reduciendo así la eficiencia del motor.
- Número de cetano. Es un valor que permite evaluar el retardo de la ignición y ha de ser como mínimo de 40; cuanto mayor es el número de cetano, menor será el retardo de encendido, menos ruidosa será la combustión; además, al ser más controlada, se produce un aumento en la eficiencia y la potencia final. Un elevado número de cetano permite un mejor arranque en frío y un calentamiento más rápido.



- Limite de inflamabilidad. Los límites de inflamabilidad afectan a la seguridad del uso de los combustibles; indican la proporción de volumen de combustible en una mezcla de aire en la que son capaces de arder. El Met-OH destaca por su gran rango de inflamabilidad, debido al amplio rango en sus límites de inflamabilidad. Este hecho hace que el Met-OH requiera de una seguridad y control exhaustivos en su operación.
- Emisiones contaminantes. El impacto ambiental de los motores alternativos de combustión interna es uno de los factores influyentes en el desarrollo de nuevas tecnologías destinadas a reducir las emisiones contaminantes y en la aplicación de combustibles alternativos de carácter ecológico con el mismo fin.

La generación de gases contaminantes es inherente a todo proceso de combustión pero además, las características del ciclo empleado en el motor y las propiedades físico-químicas del combustible influyen directamente en las emisiones que se producen durante el funcionamiento de este tipo de máquina térmica. Las sustancias contaminantes más significativas se especifican a continuación:

1. Dióxido de Carbono  $\text{CO}_2$
2. Monóxido de Carbono  $\text{CO}$
3. Hidrocarburos  $\text{HC}$
4. Óxidos de Azufre  $\text{SO}_x$
5. Óxidos de Nitrógeno  $\text{NO}_x$
6. Partículas

Ahora que se conocen las ventajas de sustituir el MTBE y TAME de las gasolinas, se debe saber si es viable para México realizar este cambio, ¿cuál es el precio de la caña y qué cantidad de caña produce México?

México produce en promedio 5 millones de toneladas de caña al año, la capacidad instalada en las destilerías con las que cuentan algunos de los ingenios es de 200 mil m<sup>3</sup>, de estos solamente 33 mil m<sup>3</sup> son de Et-OH anhidro. La producción de Et-OH, de los ingenios en 2006 fue en promedio de cerca de 37.5 kg de miel con 85° Brix por tonelada de caña procesada. Por cada tonelada de miel utilizada para producción de Et-OH, resultaron 246 litros de 96° GL, o sea serían producidos 8.8 litros de Et-OH anhidro por tonelada de caña procesada, en el caso que toda la miel disponible se utilizase para producción de Et-OH<sup>16</sup>. La meta sería producir 411.9 mil m<sup>3</sup> de Et-OH para remplazar el MTBE por ETBE en la ZMVM.

El precio internacional del azúcar derivada de la caña oscila entre los 9.93 y los 9.76 usd el kg, mientras el precio internacional del azúcar derivada del maíz se mantiene en 3.10 usd el kg (278 usd la tonelada). Este precio motiva a los agricultores mexicanos a querer vender el producto en Norteamérica aludiendo al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y por esta razón se oponen a utilizar los excedentes para la producción de alcohol.

---

<sup>16</sup> *Op. cit.*

## IV. INTRODUCCIÓN DEL ETBE EN GASOLINAS MEXICANAS

---

### *IV.1 Características del ETBE*

Con la elección de sistemas adecuados para la introducción del Et-OH (ETBE y TAEE) mezclado con gasolina en México, se puede proveer de una diversificación rápida y eficiente de fuentes de energía.

La producción y uso de biocombustibles para sustituir a los combustibles fósiles, es de gran importancia para ayudar a mitigar la emisión de GEI. Esto depende fuertemente de los procesos usados al obtener el biocombustible, particularmente en el uso de combustibles fósiles. En Brasil, la caña de azúcar para la industria del Et-OH, produce energía renovable de acuerdo a la energía fósil utilizada, la proporción es 8:3; Éste es un extraordinario desempeño, permitiendo a la industria a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero abatiendo en un equivalente al 13 por ciento de las emisiones del sector entero de energía de Brasil<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Centro de Gestao de Estudios Estratégicos (CGEE). *Projeto Etanol*. Brasil, 2006

La emisión de contaminantes atmosféricos derivados de la mezcla de gasolina con Et-OH ha sido evaluada por años. Algunos países han optado por etanol al 100 por ciento para sus vehículos. Para mezclas con ETBE la información es más restringida, debido que es menos utilizado; actualmente, mucha de la información disponible es derivada de los modelos de simulación, y comparación con el comportamiento del MTBE. La capacidad de producción de ETBE en Europa fue sólo 1 Millón t / año, en 2005<sup>18</sup>. El etanol como combustible está siendo usado en una escala mucho mayor en otros países.

El ETBE se propuso como un oxigenante debido a que se puede usar el butano excedente de la refinación. También incrementa el número de octano; su solubilidad es baja en agua (comparada con la del Et-OH), esta es una de las ventajas muy consideradas en los inicios de 1990 para el uso del Et-OH. Un efecto importante del ETBE mezclado con gasolina es la habilidad de disminuir la presión de vapor de la mezcla (PVR); Por ejemplo, cuando se añade oxígeno al 2.0 % para gasolinas reformuladas (en 7.1 psi PVR) degrada al PVR (- 0.48); Con MTBE la misma oxigenación da como resultado un incremento pequeño en PVR (+ 0.02)<sup>19</sup>.

El MTBE, ETBE y Et-OH son oxigenantes los cuáles mezclados con la gasolina aumentan el número de octano y reducen la emisión de contaminantes resultantes de la combustión. El uso de oxigenantes mezclados en la gasolina es para lograr una mejora en la calidad del aire. Sin embargo, la experiencia con MTBE demostró que el riesgo de contaminación al agua subterránea y de agua superficial puede ser ampliamente aumentado por el uso de estas sustancias. En 1998 la Agencia De Protección Ambiental (EPA) realizó un informe referente a la investigación para oxigenantes en agua con información crítica de: transporte, fuentes, transformación, periodicidad, exposición, toxicidad acuática, efectos a la salud, prevención y extracción de contaminante<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> Koene R. & Puttmann W. *Ersatz von MTBE durch ETBE: Goethe Universität Frankfurt am main*, Institut für Atmosphäre Und Umwelt; Springer Berlin/Heidelberg

<sup>19</sup> Clean Fuels Development Coalition (CFDC), 1998. <http://www.cleanfuelsdc.org/>

<sup>20</sup> Environmental Protection Agency (EPA). <http://www.epa.gov>

El MTBE cayó en desuso en muchas regiones, esencialmente por los problemas de contaminación en agua. La investigación ha aclarado muchos puntos, pero aun falta suficiente información para el ETBE (principalmente por su poco uso). Debido a la filtración de tanques de almacenamiento subterráneos, derrames de gasolina y a su permeabilidad a través de membranas y tubos plásticos, se han evaluado algunos factores importantes (relacionados con la oxigenación) considerados al evaluar riesgos.

Algunos de estos son:

- La solubilidad del oxigenante en agua
- El grado de oxigenación y degradación en el ambiente
- Las exposiciones humanas
- La toxicidad para la vida acuática, y los efectos a la salud para el hombre

Se consideran los hechos relacionados con los riesgos asociados a las mezclas de gasolina con Et-OH y ETBE.

El uso prolongado de otro oxigenante basado en éteres, como el ETBE y el TAEE, puede ser limitado, debido al mismo problema de contaminación en agua, el cual llevo a la eliminación del MTBE en otros países como USA. Los éteres son solubles en agua y resistentes a la biodegradación; Consecuentemente, la contaminación de éter en la tierra y mantos freáticos es difícil de remediar. Hay poca información científica acerca del comportamiento de ETBE o TAEE, cuando se filtra o derrama; pero se espera que se parezca al MTBE siendo este análogo debido a su composición química similar. Los descubrimientos recientes demuestran que, aun cuando el ETBE tiene algunas ventajas comparado con el MTBE debido a sus propiedades fisicoquímicas, el riesgo de contaminación de mantos freáticos (agua subterránea) por el filtrado de tanques de almacenamiento subterráneos es similar<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Koene R. & Puttmann W. *Ersatz von MTBE durch ETBE: Goethe Universität Frankfurt am main*, Institut für Atmosphäre Und Umwelt; Springer Berlin/Heidelberg

## ***IV.2 Características del mercado mexicano***

La introducción de un nuevo combustible, como el ETBE, en cualquier mercado, es siempre una tarea complicada. Existen muchos intereses involucrados en la producción de energía, de transporte, de almacenamiento y de distribución. Estos juegan un papel crucial en el proceso de penetración al mercado. Para analizar las perspectivas del uso del Et-OH como combustible, la justificación general puede resumirse como sigue:

1. México es en términos generales un país seco, sus oportunidades para aumentar la agricultura de riego destinada a cultivos energéticos es limitada.
2. México importa comida, esto limita las oportunidades para considerar al maíz, al trigo y otros cultivos para la obtención del Et-OH, especialmente si se basan en agricultura de riego, pues el agua es un recurso progresivamente escaso en el país. Aunque en el balance estimando de producción y consumo de azúcar, una cantidad del 2.5 % de la demanda de azúcar está cubierta a través de importaciones. Aplicando este criterio, reducir el gasto de melaza en los ingenios azucareros existentes y el mejor aprovechamiento de la lluvia para riego de la caña de azúcar parecen ser las mejores opciones, para Et-OH hecho en México. Además, el Et-OH hecho a partir del jugo de la caña de azúcar requiere un área mínima para cumplir con la demanda de los futuros escenarios; el requerimiento de producción energética y la disminución de la emisión de hidrocarburos.
3. México exporta petróleo crudo, pero importa gasolina y MTBE. Así, es económicamente viable que el ETBE pueda evitar estas importaciones y posponer la necesidad de invertir dinero en aumentar la capacidad de refinación para la producción de gasolina para el mercado interno. Una

alternativa sería producir Et-OH para el mercado de exportación, especialmente para el de USA, particularmente para California, donde México está favorecido geográficamente, como miembro del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

4. En México, no es sana la economía referente a la caña de azúcar, en parte por las reglamentaciones y legislaciones gubernamentales para los agricultores de caña. Los propietarios de terrenos de caña de azúcar hoy pueden recibir (con 5 ha) el valor equivalente a tres salarios mínimos. En otros países la situación es diferente, el 40 % de los trabajadores obtiene sólo un salario base. Mientras este arreglo provee a agricultores de caña con beneficios, los cuales podrían brindar una mayor seguridad social para todos los trabajadores, esto aumenta el costo de convertir la caña de azúcar en azúcar y en Et-OH.
5. La fácil introducción de Et-OH para su uso como combustible podría lograrse produciendo el Et-OH en destilerías anexas a los ingenios azucareros, de esta manera el costo de las melazas no es muy alto y el contrato social existente puede cambiarse para la producción de Et-OH, de esta manera se pueden producir ambos productos azúcar y Et-OH. Como consecuencia esto aminoraría el costo de la melaza dedicada para la producción de Et-OH hecho en México.
6. El crecimiento de los cultivos destinados a la producción de Et-OH hecho en México depende de los pastizales, de la lluvia o de la tierra disponible y libre de contrato social para el cultivo de caña de azúcar. Los beneficios previstos por el contrato social deberían ser logrados de un modo que no se penalice la producción de combustible (Et-OH). Una de las principales razones para promover en México la creación de un programa de producción de Et-OH, sería la creación de miles de nuevos trabajos rurales, permanentes, semipermanentes y ocasionales.

7. La lluvia es importante para la agricultura de la caña de azúcar, si esta escasea se pueden sufrir fracasos ocasionales del cultivo. Esto puede compensarse importando ocasionalmente Et-OH de los mercados internacionales.
8. Según la constitución mexicana, PEMEX sería el comprador exclusivo del Et-OH para uso combustible. Los inconvenientes como los cambios de proceso en las refinerías, almacenamiento e infraestructura deben ser minimizados, el precio no debe ser penalizado por el alza ocasional en el precio del Et-OH.
9. PEMEX debe asegurar que la red de abastecimiento a gasolineras sea inspeccionada y mantenida para recibir mezclas de ETBE en gasolina (no debe existir agua en los tanques subterráneos para el almacenamiento de las mezclas de ETBE – gasolina).
10. La industria automotriz mexicana debe realizar un plan para dar asistencia a los dueños de autos anteriores a 1985, con relación al cambio de materiales que estén en contacto con las mezclas de Et-OH en el vehículo.
11. La legislación y reglamentación así como las especificaciones existentes, requieren si es necesario ser ajustadas, para el ingreso de las mezclas de ETBE en la gasolina. De ser necesaria una nueva legislación, regulación y especificaciones deben ser desarrolladas e implementadas por las instituciones mexicanas apropiadas.
12. Financiar la implementación de las mezclas de ETBE en México requiere mecanismos fiscales derivados de ajustes a políticas y legislaciones, requeridas para la penetración de mezclas de Et-OH con gasolina, sin penalizaciones para los productores de etanol, PEMEX, gasolineras o consumidores.



13. En México, los recursos tecnológicos deben aplicarse para apoyar más el incremento en la producción de la caña de azúcar y la mejora en el control de las variables que intervienen en el proceso (fermentación y destilación). Para obtener mayores ganancias en la cadena productiva de la caña de azúcar, es indispensable realizar grandes inversiones en investigación y desarrollo de tecnología.

La complejidad del efecto resultante de introducir en el mercado mexicano el Et-OH como combustible, queda demostrado por la incertidumbre acerca del costo del Et-OH, así como su disponibilidad; la legislación y regulación; la flexibilidad para participar en los mercados internacionales; el financiamiento a concesionarios para implementar la agricultura de temporal o riego a gran escala (caña de azúcar), grandes destilerías, bodegas para el almacenamiento de la mezcla e infraestructura para su distribución, la adaptación de vehículos viejos para el uso de mezclas gasolina - Et-OH; los impactos ambientales y la aceptación pública.

Con base en el precio estimado de producción del Et-OH a partir de caña de azúcar, se deberán establecer los apoyos que se otorgaran tanto al sector agrícola como al petrolero, estableciéndose los montos anualizados y sobre todo, la dependencia que los negociará con la SHCP; así como los tiempos que se requerirían para consolidar la producción demandada de Et-OH, ya sea que se destine para la producción de éteres o para el mezclado con gasolinas.

Es importante mencionar que los precios de la caña obedecen a los decretos y a la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar y que solamente se pueden aplicar para la caña que se transformará en azúcar. Los algoritmos para determinar los precios y calidades de esta materia prima, no se pueden ni se deben aplicar en la misma forma cuando se trata de cañas para la producción de Bioetanol.

Para los productores de Et-OH a partir de la caña de azúcar en destilerías asociadas a ingenios, a partir de las relaciones de masa entre Et-OH y azúcar o melazas, considerando los precios en los mercados accesibles (libres o preferentes), fue posible determinar los costos de oportunidad. Estos costos cambian en función de los precios, pero quedan evidentes dos puntos: hay clara competitividad en hacer Et-OH de melazas y no hay ventaja económica en dejar de producir azúcar exportable a precios preferenciales (cuota americana, Contrato 14 de la New York Board Trade, NYBOT)<sup>22</sup>. Para el caso del azúcar en los mercados abiertos (como el Contrato 11 de la NYBOT) existe una factibilidad marginal y variable con los mercados. Sin embargo, la simultánea producción de azúcar y Et-OH aporta una deseable flexibilidad a la agroindustria cañera, que puede manejar sus flujos de sacarosa de tal forma que maximice sus ganancias. El punto clave es como compatibilizar una producción azucarera con costos elevados y rígidamente regulada, con la necesaria flexibilización productiva, que aportaría eficiencia y ampliaría el mercado para los ingenios.

Considerando que la adición de Et-OH prácticamente no altera el consumo de los vehículos, se determinarían los costos de oportunidad de los combustibles en función de sus precios de referencia. En esencia, los costos de la producción de Et-OH a partir de la caña, a valores paritarios con las melazas y el azúcar en los mercados abiertos, es competitiva frente a los valores de sustitución de los combustibles convencionales.

### ***IV.3 Requerimientos e inversión***

Los recursos necesarios para producir este tipo de éteres son del orden de 5.2 millones de dólares por año en cada planta, cantidad que repercutiría en el costo de producción de las gasolinas oxigenadas en cerca de 0.90 dólares por barril. Además, es necesario considerar el período para la modificación de las instalaciones, el cual se estima en cerca de dos años, considerando desde su inicio

---

<sup>22</sup> New York Board Trade (NYBOT), Mayo 2006. Markets: Sugar. <http://www.nybot.com>

que incluye el proceso de licitación hasta la conclusión de los cambios necesarios en cada unidad de proceso y la puesta en operación de la misma.

Cabe mencionar que la mezcla de éteres (ETBE y TAEE) con gasolinas, no requiere de infraestructura adicional, porque éstos se pueden producir e incorporar en las refinerías, minimizando de esta forma los costos de sustituir el Met-OH por el Et-OH y los correspondientes para la modificación de las instalaciones existentes (MTBE y TAME).

En el caso particular de las gasolinas PEMEX Magna y Premium que se comercializan en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), se sumaría la reducción en la producción que se tendría para ajustar la base para mezcla, ya que la mezcla con ETBE deberá satisfacer el rango especificado de 6.5 a 7.8 psi, a lo largo de todo el año. Al respecto, PEMEX ha determinado que esta situación tendría un costo adicional de entre 2 a 4 dólares por barril, asumiendo que ETBE y el MTBE tuviesen el mismo precio a la puerta de cada refinería.

Una manera alternativa y bastante razonable para evaluar los precios de paridad del Et-OH es considerando como referencia el producto que el biocombustible busca sustituir, el MTBE. En este sentido, cabe notar que los oxigenantes son utilizados en diferentes contenidos para mejorar las características de la gasolina, principalmente el octanaje y reducir las emisiones, usualmente definiendo un contenido mínimo de oxígeno en la mezcla de acuerdo con pautas ambientales.

La producción mundial de Et-OH y su uso, está sufriendo una expansión rápida en todo el mundo; En 2005 la producción esperada fue de 38.2 M m<sup>3</sup> (16 M m<sup>3</sup> de Brasil). Las estimaciones para 2010 son demasiado difíciles 60M m<sup>3</sup> <sup>23</sup>. Recientemente las estimaciones considerando los programas establecidos por

---

<sup>23</sup> Olichts F. (2005). *International sugar and sweetener report 137:27 september 04*

USA, Canadá y Brasil, indicaron una demanda para 66 M m<sup>3</sup> de Et-OH<sup>24</sup>. El Et-OH corresponde al 90 % de los biocombustibles (el otro 10 % es biodiesel). Se pronostica que más allá de 2010 todavía existe crecimiento, debido a la rápida propagación de las mezclas con Et-OH de 10% en volumen. En Brasil las políticas nacionales van encaminadas en esta dirección, y algunos países (Europa, Japón) están recurriendo también al uso de Et-OH en ETBE. La forma más común para usar Et-OH es a través de su mezcla con gasolina, debido a que la miscibilidad de ambos es muy buena (especialmente si el Et-OH es anhidro) y la aplicación interna del encendido de chispa (ciclo Otto) no requiere modificaciones del vehículo<sup>25</sup>. En USA, la aceptación pública los llevo al uso de mezclas de Et-OH con gasolina; hoy en día, uno de cada ocho galones de gasolina vendida en USA contiene Et-OH. En Brasil, toda la gasolina vendida contiene Et-OH de 20 % y las ventas de vehículos flexibles al combustible y los vehículos de Et-OH puro los que lo utilizan en más de un 40 % en el combustible para motores de ciclo Otto modificados.

---

<sup>24</sup> Fulton L. & Howes T. (2004). *Biofuels for transport: an international perspective*. International Energy Agency (IEA). <http://www.iea.org/books>

<sup>25</sup> Joseph Jr. H. (2005). *The use of ethanol blends as regular fuel for existing vehicle fleets. In Brazilian technical ethanol mission* (Japon) UNICA/COIMEX

**Tabla 17. Módulos productivos para fabricación de etanol de caña de azúcar**

Proceso	Modulo industrial
<b>Miel pobre</b>	Destilería anexa con 150 m <sup>3</sup> /día de capacidad, inversión de 15 millones de dólares, operando 210 días/año y aprovechamiento de 86% del tiempo, utilizando miel C (propia o comprada a otros ingenios) del proceso de 3.08 millones de toneladas de caña, produce 27,090 m <sup>3</sup> de etanol anhidro. Requiere de servicios auxiliares (electricidad y vapor, generados a partir del ingenio asociado)
<b>Miel rica</b>	Destilería anexa con 150 m <sup>3</sup> /día de capacidad, inversión de 15 millones de dólares, operando 210 días/año y aprovechamiento de 86% del tiempo, utiliza miel tipo B (propia o comprada de otros ingenios) del proceso de 1.58 millones de toneladas de caña y produce 27,090 m <sup>3</sup> de etanol anhidro. Requiere de servicios auxiliares (electricidad y vapor, generados a partir del ingenio asociado)
<b>Jugo directo</b>	Destilería autónoma con 450 m <sup>3</sup> /día de capacidad, versión industrial de 50 millones de dólares operando 210 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesa 1 millón de toneladas de caña por zafra y produce 80,000 m <sup>3</sup> de etanol anhidro. Produce electricidad y vapor a partir de 250 mil toneladas de bagazo producido por zafra. No requiere aportes energéticos externos.
<b>Jugo directo e hidrólisis de bagazo y residuos</b>	Destilería autónoma con 450 m <sup>3</sup> /día de capacidad, con una planta para hidrolizar aproximadamente 923 toneladas de bagazo excedente y residuos de cosecha, con capacidad adicional de 100 m <sup>3</sup> /día e inversiones industriales totales de 158 millones de dólares, operando 210 días/año y produciendo 98,000 m <sup>3</sup> de etanol anhidro. Produce electricidad y vapor a partir de 250 mil toneladas de bagazo producido por zafra. No requiere aportes energéticos externos.

Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR), 2005. *Desarrollo Operativo Histórico de Campo Fabrica 2004*. <http://www.coaazucar.org.mx>

Las características del Et-OH puro como combustible, para su utilización en motores de ciclo Otto o en mezclas con gasolina, permiten determinar los precios de paridad para ese biocombustible frente a los derivados de petróleo. Al compararse el poder calorífico volumétrico del Et-OH (21,146 kJ/litro) con el correspondiente para la gasolina (32,250 kJ/litro), se observa que una unidad de volumen de Et-OH presenta 65% del contenido energético de la gasolina y en tales condiciones, para igualdad de costos energéticos, el Et-OH debería costar 35% menos que la gasolina. Considerando solamente este aspecto, una mezcla de Et-OH en la gasolina llevaría a un incremento de consumo de aproximadamente 3.5%, en comparación al consumo con gasolina pura. Sin embargo, hay otras importantes diferencias entre estos combustibles, que deben ser evaluados en términos de energía neta efectiva para el motor de combustión cuando emplea

cada uno de los combustibles. El Et-OH presenta una elevada relación hidrógeno/carbón en su composición, una relación estequiométrica aire/combustible significativamente menor que la gasolina (9 contra 14,5) y consecuentemente produce un volumen más grande de gases por unidad energética. Por eso, la presión media en los cilindros se incrementa, permitiendo un torque superior, la realización de más trabajo por ciclo del pistón y una eficiencia algo más elevada. Además, el calor de vaporización del Et-OH es 2,3 veces más alto que para la gasolina, enfriando relativamente más la mezcla aire/combustible admitida al cilindro, incrementando su densidad y reforzando el efecto anterior. De esa manera, las mezclas Et-OH - gasolina promueven un incremento de eficiencia de 1 a 2% en los motores, que producen más trabajo por unidad de energía del combustible<sup>26</sup>. Estos efectos son potencializados por el diseño del motor y las condiciones de uso, pero muchas pruebas confirman que la mezcla de gasolina - Et-OH casi no afecta el consumo y el desempeño de los vehículos. Es posible prever que los motores más modernos, con inyección electrónica de combustible se comporten mejor con la mezcla gasolina - Et-OH debido a los sistemas automáticos para controlar la cantidad de aire aspirado, sin embargo también en los motores más antiguos con carburadores se puede esperar un efecto positivo, asociado a operación con una mezcla ligeramente más pobre.

La producción de caña de azúcar en México es bien conocida. Casi el 40 % de la producción mexicana está en el estado de Veracruz<sup>27</sup>, donde también se han reportado las principales áreas de expansión. La mayor parte de los asuntos ambientales relacionados con la caña de azúcar en México son similares a los de Brasil, donde la legislación, incluye reglas y controles para la producción, uso y eliminación de materiales, cubriendo todos los aspectos importantes.

---

<sup>26</sup> Prakash, 1998. *Use of higher than 10 volume percent ethanol/gasoline blends in gasoline powered vehicles, transportation systems branch*. Canada.

<sup>27</sup> Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR). *Op. cit.*

No hay necesidad de obtener una licencia ambiental para plantar caña de azúcar en las áreas de expansión (áreas nuevas, pastizales); Hay necesidad de obtener licencia para el uso de agua para riego.

Sin embargo, los grandes subsidios están funcionando en todo el mundo para la producción de productos agrícolas y dedicados a la energía; se debe tomar en cuenta todos los problemas asociados al uso de combustibles fósiles. Algunos factores externos considerados por varios los países fue comenzar a implementar mezclas de Et-OH en gasolina son (independientemente de si se tiene o no el Et-OH a un costo más bajo que el costo de producción de gasolina):

- La seguridad de energía diaria (con un costo creciente asociado)
- El rápido agotamiento de las reservas de petróleo
- La protección ambiental (local y global)
- Una mejora en la balanza de pagos
- La creación de empleo en la agricultura (y la industria)
- El auge rural; Revertir una urbanización insostenible

El costo de gasolina en México fue de US\$ 0.33/l en 2004, US\$ 0.45 / l en 2005 y US\$ 0.52 / l en los primeros meses de 2006<sup>28</sup>; es una buena referencia para este costo, considerando el costo a futuro (2030) del petróleo. El costo del MTBE importado, en 2005-2006, fue US\$ 0.55 – 0.47 / l. Con la equivalencia de 1 litro de Et-OH por 1 litro de gasolina en mezclas de hasta 10 el %, el valor de referencia (paridad del costo) del Et-OH al sustituir la gasolina fue de aproximadamente a US\$ 0.45 / l.

Es particularmente interesante considerar la producción de caña en México, ya que, esta puede reducir sus costos significativamente. Lo mismo puede decirse acerca del costo de procesamiento, con alta conversión y eficiencia,

---

<sup>28</sup> Macedo I.C. & Nogueira, L.A. H., 2006. *Biocombustíveis Cadernos NAE 02-2005*. Nucleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República NAE-SECOM PR, Brasília.

eventualmente puede brindar energía a la producción por medio de cogeneración. Es interesante observar que todos los programas para la producción de bioetanol en Europa y USA comienzan con las grandes diferencias entre los costos de la gasolina y el Et-OH; una asociación mucho más cercana y significativa puede encontrarse en el programa brasileño (basado en la caña de azúcar) de Et-OH. Con una impresionante reducción en el costo del Et-OH desde el comienzo del programa, produciendo el Et-OH a un costo más bajo que el costo de la gasolina internacional, debido a la tecnología y administración. Se espera que esto ocurra con un programa similar en México, con el beneficio de una industria azucarera mucho más firme.

El XII Censo General de Población y Vivienda 2000<sup>29</sup> indica a (las proyecciones para 2005) aproximadamente 25 mil personas viviendo en áreas rurales. Hay 3.77 mil unidades de producción, con aproximadamente 10.8 mil trabajadores.

Para la caña de azúcar un número de 150 mil agricultores se toma como referencia, aunque más personas estén involucradas en la producción. Se estiman 400 mil empleos directos en el campo y la industria<sup>30</sup>. Otra estimación<sup>31</sup> indica que 150 mil trabajadores (directos e indirectos) crearían trabajo para 60 mil ha de cultivos de energéticos.

Si al determinar el precio de los biocombustibles este resultase superior al de las gasolinas y el diesel, sería necesario determinar a quién se le deberá otorgar el apoyo para que la selección del compuesto oxigenante sea indiferente al precio (es decir, decidir entre el uso de MTBE y TAME, *versus* ETBE y TAE, o Et-OH).

---

<sup>29</sup> Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2000. <http://www.inegi.gob.mx>

<sup>30</sup> Bioenergéticos, 2006. *Dictámenes, Comisiones Unidas, Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. Senado de la República. Abril 2006. México, D.F.



A partir de la demanda esperada del Et-OH y las disponibilidades determinadas para los “módulos industriales” se determinaran las necesidades de superficie y las inversiones en unidades de producción de Et-OH.

**Figura 32. Superficie de cultivo requerida e inversión total (tecnologías convencionales)**

Materia prima y tecnología (t/ha)	Caña miel pobre	Caña miel rica	Jugo de caña directo
Productividad agrícola	61	61	61
Productividad industrial	8.8	17.7	80
Superficie de cultivo (ha x 10 <sup>3</sup> )	767	395	84
Inversión industrial (USD x 10 <sup>6</sup> )	240	240	300

Gran parte de las inversiones necesarias podrán efectuarse en moneda nacional, correspondiendo a obras civiles y equipos producidos en el país. En verdad, México es exportador de modernas destilerías de Et-OH, empleadas en países de la región para producir y exportar Et-OH.

En términos de caña procesada y azúcar producidos, la agroindustria cañera mexicana presenta una producción relativamente estable<sup>32</sup>. El volumen de producción observado en las recientes zafras, alrededor de 4 a 5 millones de toneladas de azúcar, corresponde a aproximadamente 3.8% de la producción mundial y es prácticamente consumido en su totalidad por el mercado interno, siendo aun necesaria alguna importación para atender completamente las necesidades mexicanas. Considerando las últimas cinco zafras, la importación de azúcar anual fue de 149,000 toneladas, cerca de 2.5% de las necesidades del país<sup>33</sup>.

<sup>31</sup> Lazcano-Martínez, 2006. *Feasibility of biomasa derived etanol as a fuel for transportation*. Task 3, overview of agricultural aspects Project ME-T1007-ATN/DO 9375

<sup>32</sup> Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR). *Op. cit.*

<sup>33</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, 2006. *Statistical database*. Rome. <http://apps.fao.org>

Considerando las zafras a partir del año 2000, los indicadores básicos de productividad en el campo y en la agroindustria son respectivamente 71.7 toneladas de caña por hectárea y 112 kg de azúcar por tonelada de caña procesada.

De interés para la producción de Et-OH, en promedio para todos los ingenios y con pequeña variación en los últimos años, fueron producidos cerca de 37.5 kg de miel con 85° Brix por tonelada de caña procesada, mientras por cada tonelada de miel utilizado para producción de Et-OH, resultaron 246 litros de Et-OH 96° GL, o sea serían producidos 8.8 litros de Et-OH anhidro por tonelada de caña procesada, en el caso que toda el miel disponible se utilizase para producción de Et-OH<sup>34</sup>.

Asumiendo esa productividad de Et-OH y el total de caña procesada, podrían ser producidos cerca de 400 mil metros cúbicos de Et-OH por año.

Se estima una demanda de 412 mil m<sup>3</sup>/año para sustitución de la producción local de MTBE por ETBE, 912 mil m<sup>3</sup>/año para sustitución total de MTBE por Et-OH en 44% de la gasolina utilizada en México y 3,897 mil m<sup>3</sup>/año para mezcla de 10% de Et-OH en toda la gasolina del país. Para dar una idea de los resultados en cuanto a producción de Et-OH, para el escenario de demanda más alta y considerando respectivamente la caña de azúcar (jugo directo), serían requeridas aproximadamente 800 mil y 980 mil hectáreas, con inversiones de 2.400 y 1.586 millones de dólares en las plantas agroindustriales. A ese nivel de producción, el ahorro de divisas anual sería, a precios actuales, de 1.754 millones de dólares.

---

<sup>34</sup> Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA). *Manual Azucarero Mexicano 2006*. México, D.F.

#### ***IV.4 Discusión actual***

Asegurar la comida es visto desde diferentes puntos de vista para cada país; pero abastecer de la suficiente cantidad de alimentos básicos es usualmente una meta. Los cultivos de energéticos añaden complejidad a este problema; El uso de las tierras perdidas o degradadas para la obtención de energéticos ha sido muy analizado recientemente.

Entre los cultivos energéticos hay dos tipos de cultivos que requieren menos de 1 M ha para alcanzar la producción del 10 % para la sustitución de gasolina (la caña azucarera y el maíz); Por consiguiente, los requisitos terrestres podrían reunirse sin comprometer el sistema de producción alimenticia, para una cierta cantidad de los cultivos.

El análisis de un estudio realizado para la producción de Et-OH en México (por la SAGARPA) reveló, que teniendo en cuenta la cultura, el agua y la tierra, así como las condiciones y disponibilidad, darán por resultado competencia entre la tierra destinada para alimento y la destinada para biocombustibles. El tema fue considerado al ver específicamente la disponibilidad de procesos<sup>35</sup>.

Teniendo en cuenta lo anterior la discusión separó la opinión en dos vertientes, como siempre sucede los que están de acuerdo con el uso de las tierras para producir energéticos y los que están en contra de que la tierra destinada a la producción de alimento se utilice para la siembra de biocombustibles. Dada esta situación la implementación de este tipo de medidas (producción de biocombustibles) se ha visto afectada y retrasada en nuestro país. Toda esta situación lleva a plantear la alternativa de producir ambos productos, azúcar y Et-OH para balancear de alguna manera el efecto psicológico que este tipo de medidas puedan tener en la sociedad a causa de una falta de información relativa al tema de los bioenergéticos.

---

<sup>35</sup> Macedo I.C. & Nogueira, L.A. H. *Op. cit.*

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

México presenta condiciones adecuadas para promover la producción y uso del Et-OH en la gasolina, con potenciales ventajas económicas, sociales y ambientales. Desde el punto de vista de la demanda, la adopción del Et-OH ofrece la posibilidad de sustituir o disminuir el consumo de gasolina y componentes oxigenantes (MTBE y TAME), productos importados en volúmenes crecientes. Además, esos aditivos son compuestos ambientalmente cuestionados y progresivamente prohibidos en diversos países como Estados Unidos.

En el proceso de obtención de Et-OH, se debe evitar utilizar energía fósil, como son el carbón y el gasóleo, aprovechando la mayor parte de los residuos orgánicos para producir la energía necesaria para el proceso de hidrólisis y fermentación, así como disponer de eficientes sistemas de cogeneración. De esta manera se puede justificar la utilización del ETBE como oxigenante en el combustible, ya que se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> y tecnológicamente es más barato.

La opción actual para México es sustituir el MTBE de las gasolinas por un compuesto más pesado y, por tanto menos volátil, en otras palabras: el ETBE. Por consiguiente México deberá adaptar sus plantas productoras de MTBE a fin de producir ETBE, para lo cual se deberá hacer uso del bioetanol (la tendencia mundial se inclina por este combustible renovable). Es importante mencionar que este cambio en las gasolinas es bueno solamente a corto plazo, debido en primer lugar a que requiere una inversión relativamente baja (no se requiere modificar equipos en las refinerías, solamente acondicionar variables termodinámicas) y en segundo lugar, no se cuenta con excedentes en la producción azucarera que pudieran aprovecharse para la introducción del Et-OH en el mercado. No es lo mejor, debido a que a largo plazo esta opción resulta ser más cara.

Realizando los cambios de tecnología en la gasolina, México cumpliría con el compromiso adquirido con la ratificación del protocolo de Kyoto, al entrar en el mercado de bonos de carbono con una cantidad considerable de CO<sub>2</sub> equivalente.

La cosecha en verde es la mejor de las opciones, ya que de la caña destinada a la fabricación del Et-OH ahorraría teóricamente 512 toneladas de CO<sub>2</sub> al año y dependiendo de la opción que México decida seguir para oxigenar sus gasolinas podría disminuir las toneladas de CO<sub>2</sub> entre 12 y 13 millones de toneladas al año aproximadamente.

Se recomienda como mejor opción para México. Comenzar con una mayor inversión para la sustitución del MTBE por Et-OH. El costo inicial sería mayor, la oxigenación de la gasolina es mayor que en el caso de usar ETBE y a largo plazo el desarrollo económico sería mejor, se promovería el desarrollo sustentable y se comenzaría a trabajar con tecnología de punta, lo cual pondría a México en una situación privilegiada al lado de Estados Unidos y Brasil, ya que sería autosuficiente en la producción del Et-OH.

Las autoridades deben asumir su responsabilidad para impulsar los programas adecuados en materia de agricultura (siembra de caña) y energía (bioenergéticos) dando incentivos que promuevan el desarrollo de estas alternativas para la sustitución del MTBE en las gasolinas mexicanas. El desarrollo de programas de difusión hacer conciencia en los habitantes de que un cambio de esta naturaleza es importante para el país, no solamente en términos energéticos, sino también económicos y sociales, ya que todo lo anterior conlleva a la creación de nuevas fuentes de empleo.

El terreno en México no es regular, esto dificulta la cosecha en verde, para la cual se usan maquinas especiales, sin embargo, se recomienda acondicionar los terrenos para realizar la implementación de este tipo de tecnologías ya que son mas rentables a futuro y promueven la sustentabilidad.

Por ultimo se recomienda realizar el cambio de tecnología para la sustitución de MTBE, debido a los beneficios que esto traería para México, esto es: disminuir la emisión de GEI, cumplir con lo planteado en el protocolo de Kioto, ingresar en el mercado de bonos de carbono, generar empleos e impulsar el crecimiento del campo en México.

Anexo 1. Los mayores emisores de GEI en el 2000, MtCO<sub>2e</sub>

	25 Mayores Emisores	Emisiones 2000 MtCO <sub>2e</sub>	% Total Mundial 2000	Tons CO <sub>2e</sub> /hab. 2000	Posición /hab. 2000	Solo USCUS 2000 MtCO <sub>2</sub>	Emisiones 1950-2000 por Energía MtCO <sub>2e</sub>	Posición 1950-2000 por Energía	Emisiones 1950-2000 por USCUS MtCO <sub>2</sub>	Posición 1950-2000 por USCUS	Total Emisiones 1950-2000 MtCO <sub>2e</sub>	% Total Mundial 1950-2000
1	EE UU	6,468.80	15.85	22.90	14	-402.8	212,906.00	1	-26,198.50	150	186,706.70	16.77
2	China	4,915.80	11.89	3.90	122	-47.3	71,766.60	4	38,909.40	3	110,675.00	9.94
3	UE (25)	4,721.10	11.42	10.40	53	-20.9	175,937.60	2	630.80	49	176,568.40	15.86
4	Indonesia	3,067.70	7.42	14.90	24	2,563.1	4,591.70	29	75,740.50	1	80,332.20	7.22
5	Brasil	2,221.50	5.37	12.80	38	1,372.1	7,442.40	19	60,946.40	2	68,388.90	6.14
6	Federación Rusa	1,969.90	4.77	13.50	33	54.2	77,120.80	3	13,838.40	5	90,959.10	8.17
7	India	1,848.80	4.47	1.80	163	-40.3	18,771.20	9	-1,191.10	145	17,580.10	1.58
8	Japón	1,355.90	3.28	10.70	50	4.4	37,346.60	8	5,007.80	13	42,354.40	3.80
9	Alemania	1,013.30	2.45	12.30	40	0.0	47,333.20	5	187.90	70	47,521.20	4.27
10	Malasia	855.70	2.07	37.20	4	698.9	1,632.70	53	20,654.10	4	22,286.80	2.00
11	Canadá	748.70	1.81	24.30	12	64.5	17,430.80	11	5,193.80	12	22,624.60	2.03
12	Reino Unido	657.10	1.59	11.00	47	-1.7	29,758.00	7	-21.00	139	29,737.00	2.67
13	México	622.60	1.51	6.40	93	96.8	9,393.10	15	4,300.00	16	13,693.10	1.23
14	Italia	529.30	1.28	9.20	87	-3.0	14,383.60	13	-5.00	135	14,378.60	1.29
15	Rep. Corea	520.40	1.26	11.10	45	1.2	8,932.60	20	887.20	42	7,799.70	0.70
16	Francia	512.20	1.24	8.70	89	-6.2	18,688.10	10	52.20	85	18,740.30	1.68
17	Mianmar (Birmania)	508.40	1.23	10.70	51	425.4	218.00	100	12,570.90	6	12,788.90	1.15
18	Australia	495.50	1.20	25.90	9	4.3	9,188.30	16	1,320.90	33	10,509.20	0.94
19	Irán	484.00	1.17	7.60	75	8.1	5,961.90	23	565.30	50	6,527.30	0.59
20	Ucrania*	482.10	1.17	9.80	81	—	20,768.10	8	—	—	20,768.10	1.87
21	Sudáfrica	419.30	1.01	9.50	83	1.7	10,201.90	14	48.70	87	10,250.60	0.92
22	Nigeria	388.10	0.94	3.30	126	194.8	1,799.80	48	5,539.90	11	7,339.70	0.66
23	Venezuela	383.80	0.93	15.80	23	144.1	4,284.60	30	6,399.40	10	10,684.00	0.96
24	Turquía	376.20	0.91	5.60	107	20.9	4,099.70	31	1,394.80	31	5,494.50	0.49
25	España	373.20	0.90	9.20	88	-8.6	7,689.20	18	-114.90	144	7,574.30	0.68
	Top 25	32,854.30	79.71	—	—	5,123.7	697,781.60	88.63%	226,538.70	72.82%	924,320.20	84.16
	Resto del mundo	8,365.20	20.29	—	—	2,468.2	89,473.60	11.37%	84,541.70	27.18%	174,015.50	15.84
	Anexo I	17,081.90	41.44	13.69	—	-249.9	571,273.40	72.57%	1,966.50	0.63%	573,239.90	52.19
	no-Anexo I	24,137.60	59.56	4.86	—	7,886.8	215,981.70	27.43%	309,113.90	99.37%	525,098.10	47.81
	Mundial 2000	41,219.50	100.00	6.55	—	7,591.9	787,255.10	100%	311,080.40	100%	1,098,335.70	100%

Elaboración propia con base en datos del *Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 4.0.* (Washington, DC: World Resources Institute, 2007): <http://cait.wri.org/>. En rojo países desarrollados que son Partes del Anexo I. Los datos incluyen Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUS), excepto en el caso de Ucrania. Los datos estimados para USCUS presentan elevados niveles de incertidumbre.

## Anexo 2. Conventional Oil Endowment

Base Case Scenario		CONVENTIONAL OIL ENDOWMENT											2001				
Unit:Gb (billion barrels)		(Excl. heavy, deepwater, polar, LNG)											Revised 25-01-02				
Country	PRODUCTION			RESERVES					DISCOVERED				% Disc	Dep. Rate	MP Dep	Peak Prod	
	kb/d 2001	Cum. Prod. Gb	5yr Trend	Reported		Adjust +/-	Factor	Assessed Field Reserves	YET-TO-FIND	YET-TO-PRODUCE							
				World Oil	O&GJ					YET-TO-PRODUCE	ULTIMATE						
1	Saudi Arabia	6470	91	-4%	263.00	259.25	0.00	0.80	207	299	21.4	229	320	93%	1.0%	2019	2014
2	Russia	6895	121	3%	52.66	48.57	-4.83	1.50	66	187	12.9	78.5	200	94%	3.1%	1992	1987
3	US-48	4430	169	-2%	21.33	22.05	-9.00	1.50	20	189	6.4	26.0	195	97%	5.9%	1971	1971
4	Iraq	1960	27	14%	115.00	112.50	-3.34	0.87	95	121	13.5	108	135	90%	0.7%	2030	2021
5	Iran	3130	53	-3%	96.40	112.50	-3.77	0.82	70	123	6.6	77	130	95%	1.5%	2010	1973
6	Venezuela	2406	45	-2%	47.62	77.69	-30.00	0.90	43	88	6.7	49.6	95	93%	1.7%	2003	1970
7	Kuwait	1440	30	-4%	96.50	94.00	-6.01	0.63	55	86	4.4	60	90	95%	0.9%	2019	2019
8	Abu Dhabi	1555	17	-3%	61.92	92.20	-7.35	0.70	59	77	3.3	63	80	96%	0.9%	2026	2015
9	Mexico	3100	29	1%	26.94	26.94	0.00	0.95	26	54	7.6	33.2	62	88%	3.3%	2003	2003
10	China	3295	27	1%	34.10	24.00	-13.34	2.30	25	52	5.2	29.7	57	91%	3.9%	2002	2003
11	Nigeria	2100	22	-2%	24.50	24.00	-4.42	1.45	28	50	1.9	30.3	52	96%	2.5%	2008	1979
12	Libya	1360	22	-1%	29.50	29.50	-2.01	0.93	26	48	3.0	28.6	51	94%	1.7%	2007	1970
13	Kazakhstan	787	6	11%	6.42	5.42	-0.53	5.00	24	30	9.9	34.3	40	75%	0.8%	2026	2026
14	Norway	3133	15	-0%	10.03	9.45	-2.32	2.25	16	31	2.8	18.9	34	92%	5.5%	2003	2000
15	UK	2260	19	-2%	5.00	4.93	0.00	2.25	11	30	2.1	13.2	32	93%	6.1%	1998	1999
16	Indonesia	1200	19	-2%	9.67	5.00	0.00	1.80	9	28	1.6	10.6	30	95%	4.0%	1992	1977
17	Algeria	820	12	-1%	13.00	9.20	-2.88	2.40	15	27	3.0	18.2	30	90%	1.6%	2011	1978
18	Canada	1055	18	-1%	5.62	4.86	0.00	1.80	8.74	27	0.9	9.6	28	97%	3.8%	1990	1973
19	Azerbaijan	300	8.01	13%	-	0.00	-0.21	7.00	6.78	15	3.2	10.0	18	82%	1.1%	2005	2007
20	N.Zone	540	6.42	0%	4.65	5.00	-1.81	2.65	8.45	15	0.6	9.1	15.5	96%	2.1%	2006	2004
21	Oman	960	6.65	1%	5.85	5.51	-0.69	1.40	6.74	13	1.61	8.3	15.0	89%	4.0%	2003	2003
22	Egypt	755	8.40	-2%	3.77	2.95	-0.57	2.00	4.75	13	0.85	5.6	14.0	94%	4.7%	1996	1994
23	Qatar	574	6.49	-2%	5.55	15.21	-10.00	1.10	5.73	12	0.79	6.5	13.0	94%	3.1%	2001	2000
24	India	640	5.34	-1%	3.34	4.84	0.00	1.25	6.05	11	0.61	6.7	12.0	95%	3.4%	2004	1997
25	Australia	640	5.55	3%	2.84	3.50	0.00	1.35	4.73	10	0.73	5.5	11.0	93%	4.1%	2001	2000
26	Argentina	760	7.99	-2%	2.96	2.97	0.00	0.95	2.83	11	0.19	3.0	11.0	98%	8.4%	1992	1998
27	Colombia	625	5.54	-1%	2.60	1.75	0.00	2.25	3.94	9.5	0.53	4.5	10.0	95%	4.9%	2001	1999
28	Malaysia	720	5.02	-1%	5.05	3.00	0.00	1.20	3.60	8.6	1.38	5.0	10.0	86%	5.0%	2001	1997
29	Angola	685	4.29	-1%	8.48	5.41	-8.16	-1.50	4.12	8.4	1.08	5.2	9.50	89%	4.6%	2000	1998
30	Romania	120	5.71	-3%	1.23	0.96	0.00	1.25	1.19	6.9	0.60	1.8	7.50	92%	2.4%	1973	1976
31	Ecuador	400	3.14	1%	3.10	2.12	-1.13	4.00	3.95	7.09	0.41	4.4	7.50	94%	3.2%	2007	2004
32	Brasil	360	4.39	-6%	8.47	8.46	-9.20	-2.20	1.62	6.0	0.99	2.6	7.00	86%	4.8%	1995	1989
33	Syria	515	3.60	-2%	2.15	2.50	-1.83	3.00	2.01	5.6	0.39	2.4	6.00	94%	7.3%	1998	1995
34	Turkmenistan	147	2.87	18%	-	0.55	-0.10	3.70	1.63	4.50	1.50	3.1	6.00	75%	1.7%	2003	1973
35	Dubai	230	3.63	-5%	0.93	4.00	-1.87	0.40	0.85	4.5	0.27	1.1	4.75	94%	6.9%	1987	1991
36	Brunei	180	2.93	5%	1.23	1.35	-0.64	2.10	1.48	4.4	0.09	1.6	4.50	98%	4.0%	1989	1978
37	Trinidad	112	3.15	-2%	0.72	0.72	0.00	1.40	1.00	4.15	0.35	1.35	4.50	92%	2.9%	1983	1978
38	Gabon	300	2.75	-4%	2.57	2.50	-1.48	1.00	1.02	3.77	0.23	1.25	4.00	94%	8.1%	1995	1996
39	Ukraine	74	2.63	-4%	-	0.40	-0.05	2.25	0.77	3.40	0.60	1.37	4.00	85%	1.9%	1984	1970
40	Peru	93	2.29	-2%	0.88	0.32	-0.60	-3.50	0.97	3.26	0.74	1.71	4.00	81%	1.9%	1994	1983
41	Yemen	350	1.49	-1%	2.10	4.00	-1.29	0.50	1.36	2.8	0.65	2.01	3.50	81%	6.0%	2003	1999
42	Vietnam	305	0.77	14%	1.75	0.60	-0.40	9.50	1.91	2.68	0.32	2.23	3.00	89%	4.8%	2008	2008
43	Uzbekistan	143	1.00	-3%	-	0.59	-0.11	3.40	1.65	2.65	0.35	2.00	3.00	88%	2.5%	1999	2009
44	Denmark	335	1.19	9%	1.11	1.11	0.00	1.10	1.22	2.4	0.58	1.81	3.00	81%	6.4%	2003	2000
45	Congo	260	1.42	1%	1.70	1.51	-1.81	-2.50	0.76	2.18	0.32	1.08	2.50	87%	8.1%	1999	2000
46	Germany	68	1.90	4%	0.31	0.36	0.00	1.05	0.38	2.3	0.12	0.50	2.40	95%	4.2%	1976	1966
47	Tunisia	66	1.17	-3%	0.31	0.31	-0.08	3.00	0.68	1.85	0.35	1.03	2.20	84%	2.3%	1995	1981
48	Italy	74	0.85	-7%	0.61	0.62	-0.10	1.50	0.79	1.6	0.12	0.90	1.75	93%	3.4%	2001	1997
49	Bahrain	103	1.19	-0%	-	0.12	0.00	1.50	0.19	1.38	0.22	0.41	1.60	86%	8.5%	1988	1993
50	Thailand	114	0.38	10%	0.52	0.52	0.00	1.60	0.83	1.20	0.30	1.12	1.50	80%	3.6%	2008	2008
51	Sudan	200	0.16	422%	0.60	0.56	0.00	1.40	0.79	0.95	0.55	1.34	1.50	63%	5.2%	2010	2005
52	Cameroon	75	1.01	-8%	-	0.40	-0.64	-1.10	0.26	1.27	0.03	0.29	1.30	97%	8.5%	1993	1986
53	Netherlands	27	0.81	-10%	0.09	0.11	-0.02	3.70	0.32	1.13	0.12	0.44	1.25	90%	2.3%	1991	1989
54	Bolivia	30	0.41	-1%	0.22	0.44	0.00	1.50	0.66	1.07	0.13	0.79	1.20	89%	1.4%	2013	2013
55	Turkey	56	0.81	-3%	0.28	0.30	-0.04	1.00	0.25	1.07	0.13	0.39	1.20	89%	5.0%	1992	1991
56	Croatia	21	0.48	-7%	0.08	0.09	-0.02	5.00	0.38	0.86	0.14	0.52	1.00	86%	1.5%	2003	1988
57	France	28	0.71	-5%	0.15	0.14	0.00	1.15	0.16	0.88	0.07	0.24	0.95	92%	4.0%	1987	1988
58	Austria	19	0.77	-2%	0.09	0.09	0.00	1.50	0.13	0.90	0.05	0.18	0.95	95%	3.6%	1971	1955
59	Papua	58	0.32	-5%	0.62	0.24	0.00	2.00	0.48	0.80	0.10	0.58	0.90	89%	3.5%	2008	1993
60	Hungary	24	0.70	-3%	0.06	0.11	0.00	1.00	0.11	0.81	0.09	0.20	0.90	90%	4.1%	1983	1994
61	Albania	6	0.53	-2%	-	0.17	-0.04	1.50	0.19	0.72	0.08	0.27	0.80	90%	0.8%	1986	1982
62	Sharjah	45	0.45	-7%	-	1.50	0.00	0.10	0.15	0.60	0.20	0.35	0.80	76%	4.5%	1998	1998
63	Pakistan	59	0.44	3%	0.30	0.30	0.00	0.90	0.27	0.71	0.32	0.31	0.75	94%	6.4%	1998	1992
64	Chile	7	0	-4%	0	0	-0.02	0.30	0.04	0.5	0.04	0.08	0.50	91%	3.0%	1979	1982



## Anexo 3. Resource Based Production Forecast

RESOURCE BASED PRODUCTION FORECAST										
					Revised	04-02-02	Base Case Scenario			
Conventional Oil					CONVENTIONAL OIL					Mb/d
Mb/d	2000	2005	2010	2020	By Region	2000	2005	2010	2020	
Saudi Arabia	8.00	7.03	11.85	7.92	MEGulf	18.5	17.0	24.4	22.3	
Russia	6.33	8.38	6.71	4.30	Eurasia	11.1	13.6	11.8	9.1	
US-48	4.45	3.84	2.72	1.37	N.America	5.5	4.7	3.5	1.9	
Iraq	2.57	2.38	3.04	4.95	L.America	8.0	7.2	6.1	4.4	
Iran	3.68	3.54	4.51	3.55	Africa	6.7	6.2	5.6	4.0	
Venezuela	2.57	2.32	2.12	1.77	Europe	6.3	5.0	3.6	1.9	
Kuwait	1.77	1.63	2.08	3.19	Far East	4.0	3.4	2.8	1.8	
Abu Dhabi	1.90	1.89	2.41	2.30	ME Other	3.0	2.4	1.8	1.1	
Mexico	3.01	2.88	2.41	1.68	Other	0.6	0.7	0.6	0.4	
China	3.24	3.02	2.43	1.57	Unforeseen	0.0	0.0	0.1	0.2	
Nigeria	2.03	2.11	1.99	1.46	Non-Swing	45	43	36	25	
Libya	1.41	1.37	1.29	1.07	Swing %	29%	28%	41%	47%	
Kazakhstan	0.68	0.96	1.22	1.99	<b>WORLD</b>	<b>64</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>47</b>	
Norway	3.21	2.73	1.96	1.01	<b>NON-CONVENTIONAL HYDROCARBONS</b>					
UK	2.51	1.77	1.31	0.72	<b>Oil</b>					
Indonesia	1.27	1.02	0.83	0.56	<b>Heavy Oils</b>	<b>1.4</b>	<b>2.8</b>	<b>3.6</b>	<b>4.6</b>	
Algeria	0.81	0.82	0.82	0.69	Canada	1.0	1.3	2.0	2.8	
Canada	1.08	0.90	0.74	0.50	Venezuela I	0.5	0.4	0.5	0.6	
Azerbaijan	0.28	0.68	0.82	0.82	Venezuela II	0.0	0.7	0.7	0.7	
N.Zone	0.63	0.55	0.53	0.41	Other		0.3	0.4	0.5	
Oman	0.93	0.88	0.70	0.45	<b>Deepwater</b>	<b>1.0</b>	<b>5.6</b>	<b>8.3</b>	<b>4.0</b>	
Egypt	0.81	0.62	0.49	0.30	G. Mexico	0.3	1.9	2.5	0.7	
Qatar	0.69	0.51	0.43	0.31	Brasil	0.8	1.8	1.8	0.8	
India	0.65	0.61	5.02	0.34	Angola	0.0	0.9	1.7	0.8	
Australia	0.70	0.54	0.44	0.29	Nigeria	0.0	0.4	1.2	0.6	
Argentina	0.75	0.53	0.34	0.14	Other	0.0	0.7	1.1	1.1	
Colombia	0.69	0.51	0.40	0.24	<b>Polar</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	
Malaysia	0.69	0.59	0.45	0.27	Alaska	1.0	0.8	0.5	0.2	
Angola	0.74	0.57	0.45	0.28	Other	0.0	0.0	0.1	0.2	
Romania	0.12	0.11	0.10	0.08	<b>Other</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	
Ecuador	0.40	0.41	0.36	0.24	<b>Subtotal</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	
Brasil	0.36	0.30	0.23	0.14	<b>GAS &amp; GAS LIQUIDS</b>					
Syria	0.52	0.38	0.26	0.12	<b>Gas (by value at 10Tcf = 1 Gboe)</b>					
Turkmenistan	0.14	0.16	0.14	0.12	Gas	24	27	32	33	
Dubai	0.28	0.17	0.12	0.06	Non-con gas	4	5	5	7	
Brunei	0.18	0.15	0.12	0.08	<b>Subtotal</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	
Trinidad	0.12	0.10	0.09	0.06	<b>Gas Liquids</b>					
Gabon	0.33	0.21	0.14	0.06	NGL	7	7	9	9	
Ukraine	0.07	0.07	0.06	0.05	<b>ALL HYDROCARBONS</b>					
Peru	0.10	0.09	0.08	0.06	<b>Gas</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	
Yemen	0.35	0.31	0.22	0.11	<b>Liquids</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>83</b>	<b>67</b>	
Vietnam	0.30	0.30	0.26	0.13	<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>109</b>	<b>120</b>	<b>106</b>	
Uzbekistan	0.16	0.17	0.20	0.12	<b>BALANCE</b>					
Denmark	0.36	0.28	0.20	0.09	<b>Liquids Mb/d</b>	At flat demand				
Congo	0.27	0.19	0.12	0.05	Supply	75	78	83	67	
Germany	0.06	0.06	0.04	0.03	Demand	75	75	75	75	
Tunisia	0.08	0.06	0.05	0.04	<b>Balance</b>	<b>0.0</b>	<b>2.8</b>	<b>8.0</b>	<b>-8.2</b>	
Italy	0.09	0.07	0.06	0.04	<b>NOTES</b>					
Bahrain	0.10	0.07	0.05	0.02	Conventional Oil here excludes:					
Thailand	0.11	0.14	0.14	0.07	Oil from coal & "shale"; bitumen; Extra-Heavy Oil;					
Sudan	0.19	0.19	0.19	0.07	Heavy Oil (<17 API); Deepwater (>500m) & Polar					
Cameroon	0.09	0.05	0.03	0.01	Oil and NGL from gasfields					
Netherlands	0.03	0.02	0.02	0.02	Base Case Scenario assumes flat demand &					
Bolivia	0.03	0.04	0.05	0.04	production until Swing Share reaches 24 Mb/d					
Turkey	0.06	0.05	0.04	0.02	(perceived capacity limit by 2010)					
Croatia	0.02	0.03	0.02	0.02						
France	0.03	0.02	0.02	0.01						
Austria	0.02	0.02	0.01	0.01	Abu Dhabi, Iram, Iraq, NZ & Saudi Arabia are					
Papua	0.07	0.05	0.05	0.03	treated as Swing Producers (ME Gulf)					
Hungary	0.03	0.02	0.02	0.01						
Albania	0.01	0.01	0.03	0.03						
Sharjah	0.05	0.04	0.03	0.02						
Pakistan	0.04	0.05	0.03	0.02						
Chile	0.01	0.01	0.01	0.00						

## Anexo 4. Hoja de Seguridad MTBE



TEXAS PETROCHEMICALS LP

(713)477-9211  
(713)475-7761 (Fax)

Page 1 of 6

## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

## MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)

ISSUE DATE: July 30, 2002

Emergency Phone Number: (713)475-7771

LAST REVISION: July 30, 2002

CHEMTREC (800)424-9300

## 1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)Chemical Name: 2-Methyl 2-Methoxy  
PropaneManufacturer: Texas Petrochemicals LP  
8600 Park Place Blvd.  
Houston, Texas 77017Synonyms: Tertiary Butyl EtherChemical Family: EtherChemical Formula: C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O

## 2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

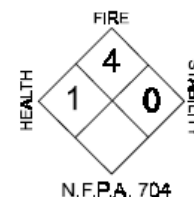
<u>Component</u>	<u>CAS Reg. No.:</u>	<u>Liq. Vol. %:</u>
MTBE	1634-04-4	97
Mixture of tert-butyl alcohol, methanol, diisobutylene and pentanes		3

*Compositions given are typical values, not specifications.*

## 3. HAZARD IDENTIFICATION

Emergency Overview

- Clear liquid with distinctive terpene-like odor.
- Extremely flammable liquid and vapor.
- Harmful if inhaled – May cause dizziness and drowsiness
- Potential environmental containment – See Section 7

Eye Contact: Causes eye irritation on direct contact or by prolonged exposure to vapors.Skin Contact: Repeated or prolonged skin exposure can result in irritation, dryness and cracking to the affected part, due to the de-fatting action of MTBE. Adverse health effects from skin absorption have not been reported.Inhalation: Vapors may cause irritation of the nose and throat. Central nervous system effects such as headache, dizziness, drowsiness, euphoria and loss of coordination may occur after long duration exposures and/or high level exposures. Unconsciousness and asphyxiation can occur at high vapor concentrations.Ingestion: Nausea, diarrhea and abdominal discomfort may result.Chronic Effects: None anticipated.

TEXAS PETROCHEMICALS LP

Product Name: MTBE

Page 2 of 6

Issue Date: August 1, 2002

**4. FIRST AID MEASURES**

- Eye Contact: Flush eye with water for at least 15 minutes. Seek medical attention immediately. Irritation may persist after flushing
- Skin Contact: Wash affected area with soap and water. Seek medical attention if irritation persists.
- Inhalation: Remove victim to fresh air. Give artificial respiration if breathing has stopped. Seek medical attention immediately.
- Ingestion: DO NOT INDUCE VOMITING! MTBE may be aspirated into the lungs and cause chemical pneumonia. Seek medical attention immediately.

**5. FIRE FIGHTING MEASURES**Flash Point: °F

-18°F (Abel-Penski)

Flammability Limits

(Vol. % in Air)

Lower: 1.6

Upper: 8.4

Auto Ignition Temperature

815°F

Fire Hazards

This product is extremely flammable. Vapors are heavier than air and may travel long distances before igniting and flashing back to the vapor source.

Extinguishing Media

Alcohol type foam, dry chemical, carbon dioxide.

Fire Fighting Procedures

Alcohol type foam or foam suitable for use with polar solvents should be used for MTBE fires. Cool adjacent structures with water to protect and prevent re-ignition. For unignited spills see Section 6. Firefighting personnel should wear full turnout gear and a positive pressure, self-contained breathing apparatus.

Hazardous Combustion Products

Carbon monoxide, carbon dioxide, aldehydes, ketone

**6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

Small Spill: Extinguish any smoking materials or flames in the immediate area. Absorb spill with cloth, vermiculite, absorbent pads, etc. Place in a sealed container for proper disposal. Contaminated material (such as soil or water) should be addressed through remediation or disposal.

Large Spill: Eliminate all ignition sources immediately. Contain the spill using earthen dikes or sand. Keep runoff from entering sewers an/or ditches that lead to waterways. Apply a blanket of vapor suppressing hazardous materials foam or alcohol-type fire fighting foam to the spill surface to minimize fire potential. Use proper grounding and bonding techniques when transferring the spilled liquid to prevent ignition from static charges. Contaminated material should be addressed through remediation or disposal.

TEXAS PETROCHEMICALS LP  
Product Name: MTBE

Page 3 of 6  
Issue Date: August 1, 2002

## 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES CONT.

### Reporting

Considerations: Local, state and/or federal law may require reporting of a spill of this material and should also be consulted for disposal requirements.

### Special

Considerations: Gasoline containing MTBE is persistent in the environment and slow to degrade, and as a result prompt remediation is very important. Due to the solubility of MTBE in water, MTBE is likely to migrate through the groundwater more rapidly than other components of gasoline. Without remediation, spills or leaks of MTBE or products containing MTBE can lead to groundwater contamination. MTBE in water can be detected by smell and taste at very low concentrations. Due to smell and taste considerations at certain levels, MTBE may render the water unusable in certain applications or undrinkable. If the water is undrinkable, corrective treatment may be expensive. Therefore, it is important that appropriate precautions are taken to prevent leaks or spills of MTBE and that all spills and leaks of MTBE or gasoline containing MTBE be detected and remediated promptly. After remediation, testing should be performed to verify that no residual MTBE or other gasoline components remain in the environment.

## 7. HANDLING AND STORAGE

Handling: Use in a well ventilated area. Avoid eye and skin contact, and inhalation of vapors. See Section 8 for personal protective equipment recommendations. Properly bond and/or ground hoses and equipment used in transferring this product to prevent ignition from static electrical charge. Use spark proof tools and explosion resistant equipment. Treat empty drums, containers, and vessels with full precautions due to residual flammable liquids and vapors.

Storage: Store away from heat and flames in tightly closed containers. MTBE storage tanks should be of the floating roof type or product should be stored with an inert head space if tank does not have a floating roof. Consult NFPA 30 for guidance.

Spill Prevention: Because of the special considerations specified in Section 6 above, all appropriate steps should be taken to prevent spills or other releases of MTBE or gasoline containing MTBE. It is unacceptable to deliver MTBE or gasoline containing MTBE into, or store such products in, storage tanks that are not certified under applicable state and federal regulations governing such tanks or that are otherwise unsound. It is the responsibility of the purchaser to determine whether its facilities are in compliance with applicable local, state and federal regulations concerning storage of MTBE or gasoline containing MTBE and of sufficient soundness to safely receive and/or store such products.

## 8. EXPOSURE CONTROL/PERSONAL PROTECTION

### Exposure Limits:

<u>Component</u>	<u>OSHA</u>	<u>ACGIH</u>	<u>Others</u>
MTBE	None	50 PPM – 8 Hr TWA	100 PPM – 8 Hr TWA (AIHA)

TEXAS PETROCHEMICALS LP  
Product Name: MTBE

Page 4 of 6  
Issue Date: August 1, 2002

## 8. EXPOSURE CONTROL/PERSONAL PROTECTION CONT.

**Exposure Control:** Process enclosures, closed systems, and local exhaust ventilation should be used to control exposures. Ventilation systems should have explosion proof equipment. Never use MTBE in closed or confined spaces without ventilation. For spills or fires involving MTBE, always approach from upwind/uphill. Safety showers and eyewash stations should be located near areas with splash hazards.

### **Personal Protection**

**Eye Protection:** In addition to safety glasses, chemical splash goggles and/or faceshields should be worn depending on the task.

**Skin Protection:** Gloves, aprons, and chemical resistant garments should be selected with regard to the task to be performed and the hazard potential for skin contact. In general, garments and gloves made from PVC, nitrile or rubber that have substantial thickness should be suitable for incidental splash protection. End users are strongly urged to consult glove/garment manufacturers for specific guidance. Clothing contaminated with MTBE should be removed and laundered at an appropriate industrial laundry facility.

**Respiratory Protection:** Air purifying respirators with organic vapor cartridges may be used if the airborne concentration of MTBE is known. Refer to NIOSH's [Respirator Decision Logic](#) or the respirator manufacturer for guidance on the specific type of respirator to use. For MTBE spills, fires or situations where the airborne concentration is unknown, use a NIOSH approved, positive pressure self-contained breathing apparatus (SCBA).

## 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

<b>Physical Form:</b>	Clear Liquid	<b>Odor:</b>	Distinctive, terpene-like
<b>Boiling Point:</b>	128°F	<b>Melting Point:</b>	Data not available
<b>Ph:</b>	Not applicable	<b>Solubility in Water:</b>	4.8 % by weight at 68°F
<b>Specific Gravity:</b>	0.745 (H <sub>2</sub> O = 1.0)	<b>% Volatile by Weight:</b>	100%
<b>Vapor Pressure:</b>	4.7 PSIA @ 77°F	<b>Vapor Density:</b>	3.1 (Air = 1.0)
<b>Evaporation Rate:</b>	1.0 (Ether = 1.0)	<b>Molecular Weight:</b>	88.2

## 10. STABILITY AND REACTIVITY

**Stability:** MTBE has not been reported to form explosive peroxides in storage like other ethers. Good-practice measures like stock rotation and disposal of unneeded MTBE should still be employed.

**Reactivity:** Incompatible with strong oxidizers and/or high heat.

**Hazardous Polymerization:** Will not occur.



TEXAS PETROCHEMICALS LP

Product Name: MTBE

Page 5 of 6

Issue Date: August 1, 2002

**11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**LD50: Oral – Rat; 3.8 g/kgLC50: Inhalation – Rat; 23,500 PPM/4 hr

Dermal – Rabbit; 10.2 g/kg

Irritation Index: Skin: 0.5-3.0/8.0 (Rabbit); slightly irritating

Eyes: 20.8/110 (Rabbit); slightly irritating

A subchronic (90 day) study of rats dosed by gavage up to 1,200 mg/kg per day revealed recoverable anesthetic effects. Also noted were reduced lung weights and male rat hydrocarbon nephropathy. Liver weights were elevated with no changes in blood chemistry or histopathology noted. Recent inhalation studies using mice showed high mortality in male mice with repeated, prolonged exposure to high MTBE vapor concentrations. Physical blockage of the urinary tract by non-neoplastic growths were found to be the cause. Female mice have shown an increased incidence of benign liver tumors. This study also showed excess mortality in male rats from nephrosis after exposures of up to 8,000 ppm for over 15 months. Both benign and malignant kidney tumors have also been reported along with benign testicular tumors.

Toxicity to the embryo/fetus in mice have occurred but only at doses that were maternally toxic. A single exposure inhalation study in rats at 4,000 or 8,000 PPM has shown CNS effects characterized as sedation. No learning or memory changes were reported.

MTBE has been found to metabolize to tert-butyl alcohol in humans and does not bio accumulate.

**12. ECOLOGICAL INFORMATION**

None

**13. DISPOSAL CONSIDERATIONS**

The user of this product is urged to consult local, state, and federal regulatory agency guidelines regarding proper disposal.

**14. TRANSPORTATION INFORMATION**

<u>D.O.T. Shipping Name:</u>	Methyl tert butyl ether
<u>D.O.T. Hazard Class:</u>	3
<u>Packing Group:</u>	II
<u>U.N. Number:</u>	UN 2398

TEXAS PETROCHEMICALS LP  
Product Name: MTBE

Page 6 of 6  
Issue Date: August 1, 2006

### 15. REGULATORY INFORMATION

OSHA: This product is hazardous according to 29CFR 1910.1200 Federal OSHA Hazard Communications Standard. Not considered to be carcinogenic according to OSHA.

EPA:

Section 302-Extremely Hazardous Substances:	Not listed.
CAA-RMP Threshold Quantity:	Not regulated under RMP.
CERCLA Reportable Quantity:	1000 pounds
SARA Section 311/312 Hazards:	Fire, immediate health.

### 16. OTHER INFORMATION

Incidents of ground water contamination by gasoline containing MTBE have been reported. See EPA website at [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

The information presented herein is to the best of the company's knowledge true and reliable. This information is supplied for informational purposes only, and without any guarantee or warranty, expressed or implied, regarding its accuracy, correctness, or completeness. Since the actual use of the product by others is beyond its control, Texas Petrochemicals LP assumes no responsibility or liability for loss, damage, or expense arising out of any use (including storage and handling) by others of the products referred to herein.

*Sections updated in this revision: 3, 6, 7, 8 and 16*

## Anexo 5. Hoja de Seguridad ETBE



### Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

### SECTION 1: IDENTIFICATION

**Product Name:** ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

**Product Number:** 000000000000011582

**Internal ID:** 3251

**Chemical Family:** Alkyl ethers

**CAS Number:** 637-92-3

**Chemical Name:** Tert-Butyl Ethyl Ether

**Synonyms:** Tert-Butyl Ethyl Ether, ETBE-1 (Expected Composition in Ship/Vessel)

**Type of Use:** Octane enhancer



F

**Company**  
Lyondell Chemie Nederland, B.V.  
Weena 737  
3013 AM Rotterdam The Netherlands

**Business Contact**  
European Headquarters 31 (0) 10 275 55 00  
product.safety@lyondell.com

**24 Hour Emergency Contact**  
European Headquarters 31 (0) 10 275 57 77

### SECTION 2: HAZARD IDENTIFICATION

#### Emergency Overview

This safety data sheet has been prepared in accordance with EU Directives 67/548/EEC; on dangerous substances, and 1999/45/EC; on dangerous preparations.

**Signal Word**  
DANGER.

**Hazards**  
Highly flammable. Complementary Information: May impart an unpleasant taste and odor in water.

**R-Phrases**  
R11 - Highly flammable.

**Physical State**  
Liquid.

**Color**  
Clear, colorless to slightly yellow.

**Odor**  
Terpene-like odor.

**Odor Threshold**  
13 ppm / Odor is not an adequate warning of potentially hazardous ambient air concentrations. May impart an unpleasant taste and odor in water. The odor threshold for ETBE detection in air approximately 13 ppb. The taste threshold for ETBE in water is approximately 47 ppb.

#### Potential Health Effects

**Routes of Exposure**  
Eye. Inhalation. Skin.







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EH  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER****Signs and Symptoms of Acute Exposure**

See component summary.

- *Ethyl Tertiary Butyl Ether* 637-92-3

Overexposure may cause coughing, shortness of breath, dizziness, central nervous system depression, intoxication and collapse. May be irritating to the eyes. Slight - moderate skin irritant. Not expected to be a sensitizer. Not a skin absorption hazard. Ingestion of high doses may cause discomfort and irritation of the gastrointestinal tract and CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

- *t-Butyl Methyl Ether* 1634-04-4

Eye irritant. Moderate skin irritant. Not a skin absorption hazard. Mucous membrane irritant. Overexposure may produce anesthetic or narcotic effects. Aspiration hazard.

- *Ethyl alcohol* 64-17-5

May cause eye and upper respiratory tract irritation. Short-term overexposure above 1,000 ppm by the inhalation route may cause central nervous system (CNS) effects such as headache and irritation of eyes, nose and throat. If continued for more than an hour additional CNS effects may occur such as: dizziness, drowsiness, loss of appetite, and an inability to concentrate. Gastrointestinal (stomach) effects may occur with symptoms such as nausea and vomiting.

- *tert-Butyl Alcohol* 75-65-0

Moderate to severe eye irritant. Mildly irritating to the skin but not a skin sensitizer. Breathing mist or vapors may cause mucous membrane or upper respiratory tract irritation. Overexposure may cause coughing, shortness of breath, dizziness, central nervous system depression, intoxication and collapse. Ingestion would likely cause gastrointestinal tract irritation. May produce symptoms of nervous system depression including headache, dizziness, nausea, loss of sense of balance, drowsiness, and visual disturbances.

**Skin**

Slight - moderate skin irritant. Not expected to be a skin absorption hazard. Not expected to be a sensitizer.

**Inhalation**

High vapor concentrations may cause central nervous system (CNS) depression with symptoms such as nausea, dizziness, weakness, headache, loss of coordination, loss of consciousness, coma and death.

**Eye**

May cause slight to moderate eye irritation.

**Ingestion**

This material may be a slight health hazard if ingested in large quantities. Ingestion of high doses may cause discomfort and irritation of the gastrointestinal tract and CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

**Chronic Health Effects**

See component summary.

- *Ethyl Tertiary Butyl Ether* 637-92-3

Prolonged or repeated breathing of high concentrations may cause symptoms of central nervous system depression. Symptoms include headache, dizziness, weakness, loss of coordination and sleep, and in extreme cases unconsciousness. Kidney effects specific to male rats (hyaline droplet nephropathy) and liver enlargement with no evidence of structural damage in mice were reported following repeated exposure to ETBE vapor.

- *t-Butyl Methyl Ether* 1634-04-4

Breathing mist or vapors may cause mucous membrane or upper respiratory tract irritation. Prolonged exposure may produce anesthetic and narcotic effects. Repeated or prolonged contact with skin may cause defatting and drying of the skin which may result in dermatitis. Chronic animal toxicity studies exposing rats and mice to MTBE have been performed. A description of these studies and an assessment of their results is presented elsewhere in this document. See section 11.

- *Ethyl alcohol* 64-17-5

Long-term exposure can also cause loss of appetite, weight loss, nervousness, memory loss, mental retardation and liver damage. May cause dermatitis by defatting the skin from prolonged or repeated contact. Alcoholic beverages are carcinogenic to humans. Ethanol is a developmental toxin and various effects have been associated with ethanol intake.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

Examples of chronic ethanol abuse effects include physical dependence, malnutrition, amnesia, dementia, somnolence, cardiac myopathy, hepatotoxicity, GI bleeding and pancreatitis. Combined exposure to ethanol and certain other chemicals may result in increased toxic effects.

- *tert-Butyl Alcohol 75-65-0*

Prolonged or repeated breathing of high concentrations may cause symptoms of central nervous system depression. May cause dermatitis by defatting the skin from prolonged or repeated contact. This material has been shown to induce tumors in laboratory animals. These findings are not likely relevant to humans. May be toxic to the developing embryo and fetus.

### Conditions Aggravated by Exposure

Any pre-existing disorders or diseases of the nervous system, respiratory system, skin, and eyes.

## SECTION 3 : COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

<u>Component Name</u>	<u>CAS #</u>	<u>EU Inventory</u>	<u>Concentration Wt.%</u>		
Ethyl Tertiary Butyl Ether	637-92-3	211-309-7	85.0	None.	None.
t-Butyl Methyl Ether	1634-04-4	216-653-1	<= 13.0	R11 R38	F Xi
Ethyl alcohol	64-17-5	200-578-6	<= 5.0	R11	F
tert-Butyl Alcohol	75-65-0	200-889-7	<= 3.0	R11 R20	F Xn

Compositions given are typical values not specifications.

See section 16 for full text of risk phrases.

## SECTION 4: FIRST AID MEASURES

### General

Take proper precautions to ensure your own health and safety before attempting rescue and providing first aid. For specific information refer to the Emergency Overview in Section 2 of this MSDS.

### Skin

Immediately remove contaminated clothing. Wash skin thoroughly with mild soap and water. Flush with lukewarm water for 15 minutes. If sticky, use waterless cleaner first. Seek medical attention if ill effect or irritation develops.

### Inhalation

If overcome by exposure, remove victim to fresh air immediately. Give oxygen or artificial respiration as needed. Obtain emergency medical attention. Prompt action is essential.

### Eye

Immediately flush the eyes with large amounts of clean low-pressure water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower lids. If pain or irritation persists, promptly obtain medical attention.

### Ingestion







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER**

If large quantity swallowed, give lukewarm water (pint/ 1/2 litre) if victim completely conscious/alert. Do not induce vomiting. Risk of damage to lungs exceeds poisoning risk. Obtain emergency medical attention.

**Note to Physician**

Continue to rinse eye with clean water for 20-30 minutes, retracting eyelids often. Contact ophthalmologist immediately. Treat symptomatically.

**SECTION 5: FIRE FIGHTING MEASURES****Flammable Properties****Classification**

Highly flammable liquid.

**Flash Point**

~ -25 °C (-13 °F) (Estimated)

**Auto-Ignition Temperature**

~ 310 °C (590 °F)

**Lower Flammable Limit**

~ 1.42 vol% (Estimated)

**Upper Flammable Limit**

~ 10.08 vol% (Estimated)

**Extinguishing Media**

**Suitable:** SMALL FIRE: Use dry chemicals, CO<sub>2</sub>, water spray or alcohol-resistant foam. LARGE FIRE: Use water spray, water fog or alcohol-resistant foam.

**Unsuitable:** Do not use solid water stream.

**Protection of Firefighters**

**Protective Equipment/Clothing:** Wear positive pressure self-contained breathing apparatus (SCBA). Structural firefighters protective clothing will only provide limited protection.

**Fire Fighting Guidance:** Releases flammable vapors below normal ambient temperatures. When mixed with air and exposed to ignition source, vapors can burn in open or explode if confined. Flammable vapors may be heavier than air. May travel long distances along the ground before igniting and flashing back to vapor source. Fight fire from maximum distance or use unmanned hose holders or monitor nozzles. Cool containers with flooding quantities of water until well after fire is out. Move containers from fire area if you can do it without risk. Withdraw immediately in case of rising sound from venting safety devices or discoloration of tank. Always stay away from tanks engulfed in fire. For massive fire, use unmanned hose holders or monitor nozzles; if this is impossible, withdraw from area and let fire burn.

**Hazardous Combustion Products:** Carbon Monoxide and other toxic vapors.

**SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES****Release Response**

Eliminate all sources of ignition. All equipment used when handling this product must be grounded. Do not touch or walk through spilled material. Stop leak if you can do it without risk. Prevent entry into waterways, sewers, basements or confined areas. A vapor suppressing foam may be used to reduce vapors. Absorb or cover with dry earth, sand or other non-combustible material and transfer to containers. Use clean non-sparking tools to collect absorbed material.

This substance is highly volatile, partially water soluble and has only a minimal tendency to adhere to soil particles. Even small volumes can pose a threat to the environment and nearby water resources. Surface spills can reach groundwater through porous soil or cracked surfaces. All efforts should be made to prevent any leaks or spills, and to protect water resources. Where spills are possible, a comprehensive spill response plan should be developed and implemented. If a leak





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

or spill reaches the groundwater, the groundwater may become contaminated. If the groundwater is a source of drinking water, the associated drinking water well(s) could become contaminated. This substance may impart an unpleasant taste and odor to water.

## SECTION 7: HANDLING AND STORAGE

### Handling

Keep container tightly closed when not in use. It is recommended that any liquid product exposed to air not be highly concentrated by evaporation without first assuring that no peroxide is present. Alternately, positive steps should be taken to reduce any accumulated peroxides to a safe level before concentrating the liquid. Use only non-sparking tools. Carefully vent any internal pressure before removing closure. Containers must be properly grounded before beginning transfer. All equipment must conform to applicable electrical code. Handle empty containers with care; vapor residue may be flammable/explosive. Isolate, vent, drain, wash and purge systems or equipment before maintenance or repair. Extinguish all ignition sources. Check atmosphere for explosiveness and oxygen deficiencies. Wear recommended personal protective equipment. Observe precautions pertaining to confined space entry.

### Storage

Store only in tightly closed, properly vented containers away from heat, sparks, open flame and strong oxidizing agents. Storage under nitrogen atmosphere is recommended to minimize possible formation of highly reactive peroxides. Vapor space above stored liquid may be flammable/explosive unless blanketed with inert gas. Store closed drums with bung in up position.

## SECTION 8: EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

### Engineering Controls

Provide local exhaust or general room ventilation to minimize dust and/or vapor concentrations. Electrical equipment should be grounded and conform to applicable electrical code.

### Personal Protection

**Inhalation** If exposure exceeds the exposure limit(s), use respiratory equipment recommended or approved by appropriate local, state or international agency.

**Skin** Wear chemical resistant gloves such as: 4H(tm)(PE/EVAL). When skin contact is possible, protective clothing including gloves, apron, sleeves, boots, head and face protection should be worn. The equipment must be cleaned thoroughly after each use.

**Eye** Eye protection, including both chemical splash goggles and face shield, must be worn when possibility exists for eye contact due to splashing/spraying liquid, airborne particles, or vapor.

### Additional Remarks

Selection of appropriate personal protective equipment should be based on an evaluation of the performance characteristics of the protective equipment relative to the task(s) to be performed, conditions present, duration of use, and the hazards and/or potential hazards that may be encountered during use. Emergency eye wash fountains and safety showers should be available in the immediate vicinity of any potential exposure. Use good personal hygiene practices. Wash hands before eating, drinking, smoking, or using toilet facilities. Promptly remove soiled clothing/wash thoroughly before reuse. Shower after work using plenty of soap and water.

### Occupational Exposure Limits

Component Name	Source	Type	Value	Notation
Ethyl Tertiary Butyl Ether	US (ACGIH)	TWA	5 ppm	None.
	OEL (ES)	VLA-ED	5 ppm 21 mg/m3	None.
	OEL (PT)	TWA	5 ppm	None.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

t-Butyl Methyl Ether	US (ACGIH)	TWA	50 ppm	None.
	OEL (AU)	STEL	100 ppm 360 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (AU)	MAK	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (BE)	TWA	40 ppm 146 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	STEL	75 ppm 270 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	MAK	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (CZ)	CEILING	200 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (CZ)	TWA	100 mg/m <sup>3</sup>	None.
	TRGS 900 (DE)	TWA	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (DK)	TWA	40 ppm 144 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (EE)	STEL	75 ppm 250 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (EE)	TWA	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (ES)	VLA-ED	40 ppm 147 mg/m <sup>3</sup>	None.
	HTP (FI)	TWA	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (LT)	TPRV	75 ppm 250 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (LT)	IPRV	100 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (LT)	IPRV	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (NL)	STEL	100 ppm 360 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (NL)	MAC	50 ppm 180 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (PT)	TWA	50 ppm	None.
	OEL (RU)	STEL	300 mg/m <sup>3</sup> vapor,	None.
	OEL (RU)	TWA	100 mg/m <sup>3</sup>	None.







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

	OEL (SE)	STV	vapor, 60 ppm 220 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (SE)	LLV	30 ppm 110 mg/m <sup>3</sup>	None.
	WEL (GB)	STEL	75 ppm 275 mg/m <sup>3</sup>	None.
	WEL (GB)	TWA	25 ppm 92 mg/m <sup>3</sup>	None.
Ethyl alcohol	US (ACGIH)	TWA	1,000 ppm	None.
	OEL (AU)	STEL	2,000 ppm 3,800 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (AU)	MAK	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (BE)	TWA	1,000 ppm 1,907 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (BG)	TWA	1,000.0 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	STEL	1,000 ppm 1,920 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	MAK	500 ppm 960 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (CZ)	CEILING	3,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (CZ)	TWA	1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
	TRGS 900 (DE)	TWA	500 ppm 960 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (DK)	TWA	1,000 ppm	None.
	OEL (DK)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (EE)	STEL	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (EE)	TWA	500 ppm 1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (ES)	VLA-ED	1,000 ppm 1,910 mg/m <sup>3</sup>	None.
	HTP (FI)	STEL	1,300 ppm 2,500 mg/m <sup>3</sup>	None.
	HTP (FI)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (FR)	VLCT	5,000 ppm 9,500 mg/m <sup>3</sup>	None.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

OEL (FR)	VME	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (GR)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (HR)	MAC	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (HU)	STEL	7,600 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (HU)	TWA	1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (IE)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (LT)	NRV	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (LT)	TPRV	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (LT)	IPRV	500 ppm 1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (LV)	TWA	1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (NL)	MAC	500 ppm 1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (NO)	STEL	625 ppm 1,187.5 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (NO)	TWA	500 ppm 950 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (PL)	NDS	1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (PT)	TWA	1,000 ppm	None.
OEL (RO)	STEL	5,000 ppm 9,500 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (RO)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (RU)	STEL	2,000 mg/m <sup>3</sup> vapor,	None.
OEL (RU)	TWA	1,000 mg/m <sup>3</sup> vapor,	None.
OEL (SE)	STV	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (SE)	LLV	500 ppm 1,000 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (SI)	STEL	4,000 ppm 7,600 mg/m <sup>3</sup>	None.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

	OEL (SI)	TWA	1,000 ppm 1,900 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (SK)	CEILING	1,920 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (SK)	TWA	500 ppm 960 mg/m <sup>3</sup>	None.
	WEL (GB)	STEL	3,000 ppm 5,760 mg/m <sup>3</sup>	None.
	WEL (GB)	TWA	1,000 ppm 1,920 mg/m <sup>3</sup>	None.
tert-Butyl Alcohol	US (ACGIH)	TWA	100 ppm	None.
	OEL (AU)	STEL	80 ppm 248 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (AU)	MAK	20 ppm 62 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (BE)	TWA	100 ppm 307 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	STEL	80 ppm 240 mg/m <sup>3</sup>	None.
	SUVA (CH)	MAK	20 ppm 60 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (CZ)	CEILING	600 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (CZ)	TWA	300 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	TRGS 900 (DE)	TWA	20 ppm 62 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (DK)	CEILING	50 ppm 150 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (DK)	TWA	50 ppm	Skin.
	OEL (EE)	STEL	75 ppm 250 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (EE)	TWA	50 ppm 150 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	OEL (ES)	VLA-ED	100 ppm 308 mg/m <sup>3</sup>	None.
	OEL (ES)	VLA-EC	150 ppm 462 mg/m <sup>3</sup>	None.
	HTP (FI)	STEL	75 ppm 230 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
	HTP (FI)	TWA	50 ppm 150 mg/m <sup>3</sup>	Skin.







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

OEL (FR)	VME	100 ppm 300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (GR)	STEL	150 ppm 450 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (GR)	TWA	100 ppm 300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (HR)	MAC	100 ppm 300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (IE)	STEL	150 ppm 450 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (IE)	TWA	100 ppm 300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (LT)	TPRV	75 ppm 250 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
OEL (LT)	IPRV	50 ppm 150 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
OEL (LV)	TWA	10 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (NL)	STEL	200 ppm 600 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (NL)	MAC	100 ppm 300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (PL)	NDSCh	450 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (PL)	NDS	300 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (PT)	TWA	100 ppm	None.
OEL (SE)	STV	75 ppm 250 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
OEL (SE)	LLV	50 ppm 150 mg/m <sup>3</sup>	Skin.
OEL (SI)	STEL	80 ppm 248 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (SI)	TWA	20 ppm 62 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (SK)	CEILING	248 mg/m <sup>3</sup>	None.
OEL (SK)	TWA	20 ppm 62 mg/m <sup>3</sup>	None.
WEL (GB)	STEL	150 ppm 462 mg/m <sup>3</sup>	None.
WEL (GB)	TWA	100 ppm 308 mg/m <sup>3</sup>	None.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER****SECTION 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

---

**Appearance:** Liquid. Clear, colorless to slightly yellow.

**Odor:** Terpene-like odor.

**Odor Threshold:** 13 ppm Odor is not an adequate warning of potentially hazardous ambient air concentrations. May impart an unpleasant taste and odor in water. The odor threshold for ETBE detection in air approximately 13 ppb. The taste threshold for ETBE in water is approximately 47 ppb.

**pH:** ~ 6.4

**Boiling Point/Boiling Range:** ~ 66.9 °C (152.42 °F) @ 760 mm Hg(Estimated)

**Freezing Point/Melting Point:** ~ -94 °C (-137.2 °F)

**Flash Point:** ~ -25 °C (-13 °F) (Estimated)

**Auto-ignition:** ~ 310 °C (590 °F)

**Flammability:** Highly flammable liquid.

**Lower Flammable Limit:** ~ 1.42 vol% (Estimated)

**Upper Flammable Limit:** ~ 10.08 vol% (Estimated)

**Explosive Properties:** No Data Available.

**Oxidizing Properties:** No Data Available.

**Vapor Pressure:** ~ 158 mm Hg @ 25 °C (77 °F)

**Evaporation Rate:** No Data Available.

**Relative Density:** ~ 0.77(Water = 1.0 at 4°C (39.2°F))

**Relative Vapor Density:** ~ 3.5 @ 15 - 32 °C (59 - 89.6 °F) (Air = 1.0)

**Viscosity:** ~ 0.4 mPa.s

**Solubility (Water):** ~ 2.3 g/l @ 20 °C (68 °F)

**Partition Coefficient (Kow):** Log Kow = 1.48 - 1.56 Estimated

**Additional Physical and Chemical Properties:** Additional properties may be listed in Sections 2 and 5.

**Remarks:** Actual physical properties depend on ratio of MTBE to ETBE.

**SECTION 10: STABILITY AND REACTIVITY**

---

**Chemical Stability**  
Stable.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

### Conditions to Avoid

Heat, sparks, open flame, other ignition sources, and oxidizing conditions.

### Substances to Avoid

This material will decompose to ethanol and isobutylene in the presence of strong acids which could lead to the risk of closed containers rupturing. Strong alkalis. Strong oxidizing agents.

### Decomposition Products

Carbon Monoxide and other toxic vapors. Contact with strong acids can decompose this material and generate extremely flammable isobutylene.

### Hazardous Polymerization

Not expected to occur.

### Reactions with Air and Water

May react with oxygen to form peroxides.

## SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

### PRODUCT INFORMATION

#### Product Summary

Ethyl tertiary butyl ether (ETBE) has low acute toxicity in experimental animals following oral, inhalation, or dermal exposure. Acute or repeated inhalation exposures of high doses may result in nervous system depression. Liquid ETBE is a slight to moderate eye and skin irritant and not sensitizing to the skin. Liver enlargement without evidence of structural damage was seen in mice after repeated exposure, while male rats exhibited sex- and species-specific kidney effects. This product is not selectively toxic to the fetus and does not adversely affect reproductive function. This product is not genotoxic. Some evidence of tumor increases were observed in rats in an oral study of ETBE, however, this study is not reliable to evaluate the carcinogenicity of ETBE. ETBE is metabolized to t-butanol which induced kidney tumors in male rats and thyroid tumors in female mice by mechanisms that most likely are not relevant to humans.

### COMPONENT INFORMATION

- Ethyl Tertiary Butyl Ether 637-92-3

#### Acute Toxicity - Lethal Doses

<u>LC50 (Inhl)</u>	Rat	> 1450 PPM (VAPOR)	4 HOURS
<u>LD50 (Oral)</u>	Rat	> 5000 MG/KG BWT	
<u>LD50 (Skin)</u>	Rabbit	> 2000 MG/KG BWT	

#### Acute Toxicity - Effects

Inhalation High doses may cause CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

Ingestion Ingestion of high doses may cause discomfort and irritation of the gastrointestinal tract and CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

Skin Contact No adverse effects are reported from dermal exposure. No data on skin absorption found.

#### Irritation







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

Skin Slight - moderate skin irritant.

Eye May cause slight to moderate eye irritation.

**Sensitization**

Not expected to cause sensitization by skin contact. Not expected to cause respiratory tract sensitization.

**Target Organ Effects**

Skin. Eye. Central nervous system. Liver. Kidneys.

**Repeated Dose Toxicity**

High vapor concentrations may cause central nervous system (CNS) depression with symptoms such as nausea, dizziness, weakness, headache, loss of coordination, loss of consciousness, coma and death. Kidney effects specific to male rats (hyaline droplet nephropathy) and liver enlargement with no evidence of structural damage in mice were reported following repeated exposure to ETBE vapor.

**Reproductive Effects**

This substance is not expected to be a reproductive toxicant. No effects on fertility or development were observed following oral exposure of rats to up to 1000 mg/kg bwt/day ETBE over two generations. At ETBE doses of  $\geq 500$  mg/kg bwt, the study parental animals exhibited increases in kidney and liver weights.

**Developmental Effects**

ETBE is not selectively toxic to the fetus. No adverse developmental effects were reported in rats exposed to high concentrations (1000 mg/kg bwt) during pregnancy despite the occurrence of maternal toxicity (decreased maternal body weight gain).

**Genetic Toxicity**

Negative for genotoxicity both in vitro and in vivo tests.

**Carcinogenicity**

Some evidence of tumor increases were observed in rats in an oral study of ETBE, however, this study is not reliable to evaluate the carcinogenicity of ETBE. ETBE is metabolized to t-butanol which induced benign kidney tumors in male rats and benign thyroid tumors in female mice. The t-butanol induced male rat kidney tumors occurred by an a-2u-globulin mode of action, a tumor mechanism not relevant for humans, and the mouse thyroid tumors are postulated to be related to thyroid hormone metabolism and are also not likely relevant to humans. ETBE is not listed as a carcinogen by OSHA, NTP, IARC or EPA.

- *t-Butyl Methyl Ether* 1634-04-4

**Acute Toxicity - Lethal Doses**

<u>LC50 (Inhl)</u>	Rat	23,800 - 39,800 PPM	4 HOURS
--------------------	-----	------------------------	---------

<u>LD50 (Oral)</u>	Rat	3800 MG/KG BWT
--------------------	-----	----------------

<u>LD50 (Skin)</u>	Rabbit.	> 10,000 MG/KG BWT
--------------------	---------	--------------------

**Acute Toxicity - Effects**

Inhalation Vapors may cause irritation of the eyes, nose and throat as well as CNS depression (fatigue, dizziness, loss of concentration, with collapse, coma and death possible in cases of severe overexposure). High vapor concentrations may be irritating to the upper respiratory tract.

Ingestion Ingestion of high doses may cause discomfort and irritation of the gastrointestinal tract and CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

Skin Contact Prolonged or repeated contact may cause skin to become dry or cracked.

**Irritation**

Skin Neat liquid is moderately irritating to skin.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

**Eye** Neat liquid may produce minimal, reversible eye irritation.

### Sensitization

Not expected to cause sensitization by skin contact.

### Target Organ Effects

Skin. Eye. Respiratory system. CNS depressant.

### Repeated Dose Toxicity

No evidence of adverse systemic effects was seen in rodents exposed repeatedly to low concentrations of MTBE vapor, however higher exposures were associated with an accumulation of protein droplets in the kidney of male rats (a male rat-specific response), with liver enlargement (but no adverse histopathological lesions) in rats and mice of both sexes. A decreased incidence of cystic endometrial hyperplasia and changes in other estrogen-sensitive tissues were reported in female mice exposed to 28.6 mg/l (8,000 ppm) MTBE vapor, however serum estrogen levels and estrogen receptor functions were unaffected. There are inconsistent reports of minor subjective neurological symptoms in humans regularly exposed to low levels of MTBE vapor. It is unclear, however, if these are causally-related to MTBE or were triggered by its odor. Some individuals find the odor of MTBE objectionable (threshold for detection 0.0002 mg/l; 0.053 ppm).

### Reproductive Effects

No adverse effect on reproductive function or gonad histopathology seen in male and female rats exposed to 28.6 mg/l (8,000 ppm) MTBE vapor over two generations.

### Developmental Effects

MTBE is not selectively toxic to the fetus. No adverse developmental effects were reported in rabbits exposed to high concentrations during pregnancy, despite the occurrence of maternal toxicity (CNS effects, significantly lower food intake, significantly lower maternal body weight). Similar maternal signs were noted in mice exposed under similar conditions, however in this instance an increased incidence of cleft palate was apparent in the offspring. Cleft palate is a stress-related phenomenon in the mouse hence this observation was considered secondary to maternal toxicity in this species.

### Genetic Toxicity

MTBE has been tested extensively for genotoxic activity in a range of in vitro and in vivo tests. While the majority of results are negative, weak positive findings (consistent with the metabolism of MTBE to formaldehyde by S9 fraction in vitro) have been obtained with Salmonella typhimurium TA102 and L5178Y TK+/- mouse lymphoma cells. The findings in Salmonella typhimurium strain TA 102, however, have not been replicated. Also consistently negative results have been obtained from in vivo tests, indicating that formation of free formaldehyde in the body is negligible. Overall, the weight of evidence indicates that MTBE is not a genotoxin.

### Carcinogenicity

Studies in experimental animals have found only limited evidence for the carcinogenicity for MTBE, with tumors occurring in tissues or via mechanisms considered not relevant to humans. Female mice exposed by inhalation to up to 28.6 mg/l (8,000 ppm) MTBE vapor responded with an increased incidence of liver tumors, while male rats developed tumors in testis and kidney under similar conditions. Mechanistic studies have shown important differences in the disposition and fate of MTBE in rodents and humans, suggesting that these findings after long-term inhalation exposure are not indicative of a risk to health. Results are also available from a life-time study of non-standard design, which reported an increased incidence of combined lymphoma/leukemia in female rats given MTBE by gavage, however inadequacies in the design and reporting of this investigation limit confidence in the result. Critically, MTBE is not genotoxic indicating that a direct effect on DNA is unlikely. Listed by IARC as not classifiable as to its carcinogenicity to humans (Group 3). This listing is based on inadequate evidence in humans and limited evidence of carcinogenicity in experimental animals.

- Ethyl alcohol 64-17-5

### Acute Toxicity - Lethal Doses

LC50 (Inhl)	Rat	20000 PPM	10 HOURS
LD50 (Oral)	Rat	7060 MG/KG BWT	
LDLo (Oral)	Human	1400 MG/KG BWT	

### Irritation







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

**Skin** Defatting of the skin with irritation, dryness and cracking. Standard Draize skin test (rabbit) - Dose: 20 mg/24 hrs  
 Reaction: Moderate

**Eye** Eye exposure to Ethanol generally causes transient pain, irritation, and reflex lid closure. A foreign-body sensation may persist for one to two days. Vapors produce transient stinging and tearing, but no apparent adverse effects. Transiently impaired preception of color may occur with acute ingestion or chronic alcoholism. Standard Draize eye test (rabbit) - Dose: 500 mg Reaction: Severe Dose: 500 mg/24 hrs Reaction: Mild

**Repeated Dose Toxicity**

Exposure to over 1000 ppm may cause headache, drowsiness and lassitude, loss of appetite, inability to concentrate and irritation of the throat.

**Reproductive Effects**

Excessive consumption of alcoholic beverages during pregnancy can cause fetal alcohol syndrome. The development of physical and mental manifestation in the offspring; it may also cause defects in the central nervous system, heart, kidney and limbs. Moderate consumption can be associated with reduced birthweight and behavioral defects, but effects generally have not been observed with an intake of about one drink per day.

**Carcinogenicity**

The International Agency for Research on Cancer (IARC) has determined alcoholic beverages are carcinogenic to humans (Group 1) and the occurrence of malignant tumors of the oral cavity, pharynx, larynx, esophagus and liver is causally related to the consumption of alcoholic beverages in humans. The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) list ethyl alcohol as an A4 - Not classifiable as a Human Carcinogen. These are agents, which cause concern that they are carcinogenic for humans, but which cannot be assessed conclusively because of a lack of data. Animal studies do not provide indications carcinogenicity which are sufficient to classify the agent into one of their other categories.

- *tert-Butyl Alcohol* 75-65-0

**Acute Toxicity - Lethal Doses**

<u>LC50 (Inhl)</u>	Rat	> 14,100 PPM	4 HOURS
<u>LD50 (Oral)</u>	Rat	2,733 MG/KG BWT	
<u>LD50 (Skin)</u>	Rabbit	> 2000 MG/KG BWT	

**Acute Toxicity - Effects**

**Inhalation** Vapors may cause irritation of the eyes, nose and throat as well as CNS depression (fatigue, dizziness, loss of concentration, with collapse, coma and death possible in cases of severe overexposure). High vapor concentrations may be irritating to the upper respiratory tract.

**Ingestion** High doses may cause CNS depression (fatigue, dizziness and possibly loss of concentration, with collapse, coma and death in cases of severe over-exposure).

**Skin Contact** While skin absorption is a potential route of exposure, no adverse health effects are anticipated following accidental or incidental contact. May produce skin irritation.

**Irritation**

**Skin** Slight skin irritant.

**Eye** Lyondell has conducted primary eye irritation studies in rabbits with tertiary-butyl alcohol (TBA). A single dose of 0.1 ml TBA was instilled into the right eye of albino rabbits (6/group) and scored by the Draize method at subsequent time points. Scores indicated moderate to severe eye irritation. Some rabbits had corneal injury 34 days following treatment.

**Sensitization**

Not expected to cause sensitization by skin contact.

**Target Organ Effects**

Skin. Eye. Respiratory system. Central nervous system. Kidneys. Thyroid. Liver. Blood. Thymus.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER****Repeated Dose Toxicity**

May be toxic following repeated exposure to high doses. Subchronic and chronic administration of t-butanol in the drinking water of male rats at concentrations of 1.25 mg/ml (estimated at 90 mg/kg bwt and higher) resulted in kidney pathology. The kidney pathology is mediated through the  $\alpha$ -2u-globulin mode of action. In male and female rats that received 90 mg/kg bwt and higher t-butanol, there was an increase in the severity of chronic progressive nephropathy, a disease not relevant for humans. In male and female mice at concentrations in drinking water of 10 mg/ml (~1000 mg/kg bwt), an increased incidence of thyroid follicular cell hyperplasia was observed, and at ~2000 mg/kg bwt, the mice exhibited an increased inflammation of the urinary bladder resulting in hyperplasia. Repeated inhalation exposure of rats and mice to t-butanol produced the following target organ effects, which demonstrated sex and species differences in the concentrations causing effects: central nervous system effects at  $\geq 2728$  mg/m<sup>3</sup> (900 ppm); decreases in body weight/weight gain, increases in liver weight, and minimal changes in hematological parameters at  $\geq 3274$  mg/m<sup>3</sup> (1080 ppm); and decreases in thymus weights at 10,610 mg/m<sup>3</sup> (3500 ppm). Increased kidney weights were found in rats at 1080 ppm. In male rats, chronic nephropathy, without accumulation of protein droplets, was noted at  $\geq 409$  mg/m<sup>3</sup> (135 ppm).

**Reproductive Effects**

t-Butanol had no effect on fertility in a one-generation screening study in rats. At maternally toxic doses (1000 mg/kg bwt/day), there were fewer live pups per litter and lower pup body weights which continued through lactation. No adverse effects on testes and ovary structure, or on sperm motility or morphology, were seen in rats or mice that received repeated high oral doses (up to approx. 3600 mg/kg bwt/day in rats, 8210 mg/kg bwt/day in male mice and 11,620 mg/kg bwt/day in female mice).

**Developmental Effects**

Results from studies in pregnant rats and mice indicate that t-butanol is not teratogenic but at high oral doses (1000 mg/kg bwt) produces embryo/fetotoxicity and developmental delay. Developmental delay was also observed in rats exposed by inhalation during gestation to t-butanol at  $\geq 2000$  ppm (6063 mg/m<sup>3</sup>), in the presence of maternal toxicity (reduction in body weight, CNS effects).

**Genetic Toxicity**

Negative for genotoxicity both in vitro and in vivo tests.

**Carcinogenicity**

t-Butanol is an animal carcinogen. In a drinking water study, t-butanol induced benign kidney tumors in male rats via an  $\alpha$ -2uglobulin mode of action, a tumor mechanism not relevant to humans. In female mice, there was an increased incidence of benign thyroid tumors, a tumor mechanism that most likely is not relevant to humans. t-Butanol is not classified as to carcinogenicity by EPA, OSHA, NTP or IARC.

**SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION****PRODUCT INFORMATION****Ecotoxicity**

This material is classified as harmful to invertebrates. This material is not harmful or toxic to fish. See component summary.

**WGK**

Not classified.

**Environmental Fate and Pathway**





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

Expected to have high mobility in soils. Volatilization from moist soil surfaces may occur. Expected to volatilize rapidly from surface waters with an estimated half-life in a model river of 1.5 hours and in a model lake of 101 hours. May adsorb to suspended solids and sediment in water. Undergoes photo-oxidation with hydroxyl groups in air with a half-life of 17 hours. This substance presents a potential concern to groundwater supplies. Small amounts of this substance or gasoline blended with this substance may impart an unpleasant odor and taste to the groundwater, which can render such groundwater unsuitable for consumption. Therefore, care should be used when handling, storing or transferring this substance or gasoline blended with this substance to insure that such product is not released into the environment and is not allowed to migrate to groundwater. Because this substance has a low solubility in water and a relatively low organic carbon partitioning coefficient, every release into the environment has the potential for damaging groundwater supplies. Once in the groundwater, this substance is expected to migrate faster and farther than most other hydrocarbons and be present at the leading edge of a groundwater contaminant plume. This substance may not biodegrade as promptly as other gasoline constituents and may require additional and more costly remediation procedures.

### Persistence and Degradability

**Biodegradation:** This material is expected to be inherently biodegradable in acclimated systems. There is evidence that it is degraded under anaerobic conditions.

**Bioaccumulation:** This material is not expected to bioaccumulate.

### Other Adverse Effects

This material does not adhere readily to soil particles and may travel rapidly and extensively in a groundwater plume. Therefore, groundwater remediation efforts may be difficult and extensive.

## COMPONENT INFORMATION

- *Ethyl Tertiary Butyl Ether* 637-92-3

### **Ecotoxicity**

#### Acute toxicity to fish

LC50 / 96 HOUR *Cyprinodon variegatus* > 2,500 mg/l

#### Acute toxicity to aquatic invertebrates

EC50 / 96 HOUR *Mysidopsis bahia* 37 mg/l

Summary: Moderately toxic to aquatic invertebrates.

EC50 / 48 HOUR *Daphnia magna*. 110 mg/l

#### Toxicity to aquatic plants

EC50 / 72 HOUR *Pseudokirchneriella subcapitata* 1,100 mg/l

#### Toxicity to microorganisms

Summary: No Data Available.

#### Chronic toxicity to fish

Summary: No Data Available.

#### Chronic toxicity to aquatic invertebrates

Summary: No Data Available.

## **Environmental Fate and Pathway**

### Mobility







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER**

Transport between environmental compartments: High mobility in soil. Volatilization from moist soil surfaces may occur. Expected to volatilize rapidly from surface waters with an estimated half-life in a model river of 1.5 hours and in a model lake of 101 hours. May adsorb to suspended solids and sediment in water.

Persistence and Degradability

Biodegradation: Inherently biodegradable by adapted microorganisms under aerobic conditions. May biodegrade under anaerobic conditions. Undergoes photooxidation with hydroxy groups in air with a half-life of 17 hours.

Bioaccumulation: Low potential for bioaccumulation.

- *t-Butyl Methyl Ether* 1634-04-4

**Ecotoxicity**

This material is expected to be non-hazardous to aquatic species.

Acute toxicity to fish

LC50 / 96 HOURS fathead minnow 672 - 980 mg/l

LC50 / 96 HOUR rainbow trout. 887 mg/l

LC50 / 96 HOUR bluegill sunfish 1,054 mg/l

LC50 / 96 HOUR silverside minnow. 574 mg/l

LC50 / 96 HOUR sheepshead minnow. 1,358 mg/l

Acute toxicity to aquatic invertebrates

EC50 / 48 HOUR Daphnia magna. 472 - 681 mg/l

LC50 / 48 HOUR waterflea. 340 mg/l

EC50 / 96 HOUR saltwater mysid. 136 - 187 mg/l

Toxicity to aquatic plants

IC50 / 96 HOUR green algae (Selenastrum). 491 mg/l

Toxicity to microorganisms

Summary: No Data Available.

Chronic toxicity to fish

IC50 / 31 DAY fathead minnow 279 mg/l

Chronic toxicity to aquatic invertebrates

NOEC50 / 28 DAY saltwater mysid. 26 mg/l

Summary: May pose slight chronic toxicity in specific invertebrates.

**Environmental Fate and Pathway**



## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

# ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

MTBE presents a potential concern to groundwater supplies. If released to the environment, relatively small amounts of MTBE may impart an unpleasant and distasteful odor and taste to groundwater which can render such groundwater unsuitable for consumption. Therefore, care should be used when handling, storing or transferring MTBE or gasoline blended with MTBE to insure that such product is not released into the environment and is not allowed to migrate to groundwater. Because of its solubility in water (4.3%) and relatively low organic carbon partitioning coefficient ( $K_{oc}=11$ ), MTBE is mobile in soil and, accordingly, every release into the environment has the potential for damaging groundwater supplies. Once in the groundwater, MTBE may migrate faster and farther than most other hydrocarbons and may be present at the leading edge of a groundwater contaminant plume. MTBE may not biodegrade as promptly as other gasoline constituents and may require additional and more costly remediation procedures. Other information regarding MTBE is available through the Chemical Abstracts Service, American Petroleum Institute publications, the U.S. Environmental Protection Agency and elsewhere.

### Mobility

Transport between environmental compartments: The atmosphere is the main environmental compartment for releases of MTBE. In water, volatilization will result in substantial losses to the atmosphere with a half-life of 5-6 days.

### Persistence and Degradability

Biodegradation: Two OECD 301D studies (closed bottle test) showed negligible (0-2%) biodegradation after 28 days. Not readily biodegradable under aerobic conditions. However, degradation has been observed in non-standard tests using pure- and mixed bacterial cultures.

Bioaccumulation: Log Kow (Fish) <3 This material is not expected to bioaccumulate.

### Other Adverse Effects

As a VOC, MTBE can contribute to the formation of photochemical smog in the presence of other VOC's.

- *Ethyl alcohol* 64-17-5

### **Ecotoxicity**

#### Acute toxicity to fish

LC50 / 96 HOUR rainbow trout. > 10,000 mg/l

Summary: Static and/or flow-through LC50(96-hr)= 13,000-15,300 mg/l

LC50 / 96 HOUR fathead minnow 15,300 mg/l

#### Toxicity to aquatic plants

Toxicity Threshold / green algae. 1,450 mg/l

Summary: growth inhibition

#### Toxicity to microorganisms

Toxicity Threshold / bacteria. 6,500 mg/l

Summary: Inhibition of cell multiplication begins.

### **Environmental Fate and Pathway**

#### Persistence and Degradability

Biodegradation: This material is expected to be biodegradable.

Bioaccumulation: This material is not expected to bioaccumulate.

- *tert-Butyl Alcohol* 75-65-0

### **Ecotoxicity**

This material is expected to be non-hazardous to aquatic species.





## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER**Acute toxicity to fish

LC50 / 96 HOUR fathead minnow > 961 mg/l

Summary: This material is not harmful or toxic to fish.

Acute toxicity to aquatic invertebrates

EC50 / 48 HOURS waterflea. 5,504 mg/l

Summary: This material is not harmful or toxic to aquatic invertebrates.

Toxicity to aquatic plants

EC50 / green algae (Selenastrum). > 976 mg/l

Summary: This material is not harmful or toxic to algae or higher aquatic plants.

Toxicity to microorganisms

EC50 / bacteria. 11,263 mg/l

EC10 / 18 HOUR bacteria. 2,050 mg/l

EC0 / bacteria. 13,560 mg/l

Summary: This material is not toxic or harmful to bacteria.

Chronic toxicity to fish

Summary: No Data Available.

Chronic toxicity to aquatic invertebrates

Summary: No Data Available.

Other Adverse Effects

Raphanus sativus, 50% reduction in seedling length, 160 ppm

**Environmental Fate and Pathway**Mobility

Transport between environmental compartments: Highly mobile in soil and likely to volatilize from moist or dry soil surfaces. Expected to volatilize from surface waters and not likely to adsorb to suspended solids and sediment in water.

Persistence and Degradability

Biodegradation: This material is expected to be inherently biodegradable.

Bioaccumulation: This material is not expected to bioaccumulate. Degraded in the atmosphere by reaction with photochemically produced hydroxyl radicals with an estimated half life ranging from 2.5 days to 25 days.

**SECTION 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS**

---

Contaminated product, soil, or water should be designated hazardous wastes due to potentially low flash point. Landfill solids at permitted sites. Use registered transporters. Burn concentrated liquids in systems designed for low flash point material. Assure emissions comply with applicable regulations. Avoid overloading/poisoning plant biomass. Assure effluent complies with applicable regulations.

**SECTION 14: TRANSPORT INFORMATION**

---

**Special Requirements**

If you reformulate or further process this material, you should consider re-evaluation of the regulatory status of the components listed in the composition section of this sheet, based on final composition of your product.

**Proper Shipping Name** ETHYL BUTYL ETHER







## Material Safety Data Sheet

MSDS No.: BE9038  
 Variant: Europe-EN  
 Version No: 1.3  
 Validation Date: 24.10.2007

## ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER

ID No. UN1179

Hazard Class 3

PG II

## SECTION 15: REGULATORY INFORMATION

### Regulatory Status

Country	Inventory		
Australia	AICS		X = All components are included or are otherwise exempt from inclusion on this inventory.
Canada	DSL		
Canada	NDSL		
China	IECS		
European Union	EINECS	X	
European Union	ELINCS		
European Union	NLP		
Japan	ENCS	X	
Korea	ECL	X	
Philippines	PICCS		
United States	TSCA	X	C = Contact Lyondell/Equistar by e-mail at <a href="mailto:product.safety@lyondell.com">product.safety@lyondell.com</a> or <a href="mailto:product.safety@equistarchem.com">product.safety@equistarchem.com</a> for additional information.

### Labeling Information



F

#### Symbol

Highly flammable.

#### R-Phrases

R11 - Highly flammable.

#### S-Phrases

S16 - Keep away from sources of ignition - No Smoking.

S23 - Do not breathe gas/fumes/vapor/spray.

S29 - Do not empty into drains.

S33 - Take precautionary measures against static discharges.

#### Other

EU Labeling Information:

## SECTION 16: OTHER INFORMATION

#### Latest Revision(s)

Revised Section(s): 1



**Material Safety Data Sheet**

MSDS No.: BE9038  
Variant: Europe-EN  
Version No: 1.3  
Validation Date: 24.10.2007

**ETHYL TERTIARY BUTYL ETHER****All Relevant Risk Phrases**

None.

R11 - Highly flammable.

R20 - Harmful by inhalation.

R38 - Irritating to skin.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Bioenergéticos, 2006. *Dictámenes, Comisiones Unidas, Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. Senado de la República. Abril 2006. México, D.F.

Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/78.pdf>

Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/77.pdf>

Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera (CNIAA). *Manual Azucarero Mexicano 2006*. México, D.F.

Centro de Gestao de Estudios Estratégicos (CGEE). *Projecto Etanol*. Brasil, 2006

Centro Mario Molina. <http://www.centromariomolina.org>

Clean Fuels Development Coalition (CFDC), 1998. <http://www.cleanfuelsdc.org/>

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). [http://www.conae.gob.mx/work/sites/conae/resources/localcontent/4506/2/leybio\\_energeticos.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/conae/resources/localcontent/4506/2/leybio_energeticos.pdf)

Comisión Reguladora de Energía (CRE).  
<http://www.cre.gob.mx/documento/38.pdf>

Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR), 2005. *Desarrollo Operativo Histórico de Campo Fabrica 2004*. <http://www.coaazucar.org.mx>

Damià Barceló. *Fuel Oxygenates (The Handbook of Environmental Chemistry) (Hardcover)*

Environmental Protection Agency (EPA). <http://www.epa.gov>

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, 2006. *Statistical database*. Rome. <http://apps.fao.org>

Foro: Etanol, Caña de Azúcar y Energía: PEMEX Refinación, *Etanol de origen agrícola como oxigenante para combustible*, CANACINTRA Xalapa, Veracruz, 24 de noviembre de 2005.

Fulton L. & Howes T. (2004). *Biofuels for transport: an international perspective*. International Energy Agency (IEA). <http://www.iea.org/books>

INE (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/32/cap6.html>)

Información estadística de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y The Oil Drum. Revista Dossier, Ed. Vanguardia

Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT), 2006. *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. México. <http://www.ine.gob.mx>

Instituto Nacional de Energía (INE). [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx](http://cambio_climatico.ine.gob.mx)

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2000.  
<http://www.inegi.gob.mx>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Yoshimura, J., M. Sugi and A. Noda, 1999: *Influence of greenhouse warming on tropical cyclone frequency simulated by a high-resolution AGCM*. Proceedings of the 23rd Conference on Hurricanes and tropical meteorology, 10-15 January 1999, Dallas, American Meteorological Society, 1081–1084.

IPCC, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Ginebra & IPCC, 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC, Ginebra.

James A. Jacobs. *MTBE: Effects on Soil and Groundwater Resources (Hardcover)*, Jacques Guertin, Christy Herron. 1997

Joseph Jr. H. (2005). *The use of ethanol blends as regular fuel for existing vehicle fleets. In Brazilian technical ethanol mission (Japan) UNICA/COIMEX*

Koene R. & Puttmann W. *Ersatz von MTBE durch ETBE: Goethe Universität Frankfurt am main*. Institut für Atmosphäre Und Umwelt; Springer Berlin/Heidelberg

Lazcano-Martínez, 2006. *Feasibility of biomasa derived etanol as a fuel for transportation*. Task 3, overview of agricultural aspects Project ME-T1007-ATN/DO 9375



Macedo I.C. & Nogueira, L.A. H., 2006. *Biocombustíveis Cadernos NAE 02-2005*. Nucleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República NAE-SECOM PR, Brasília.

Magar S. Victor. *Bioremediation of Mtbe, Alcohols, and Ethers: The Sixth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium: San Diego, California*. International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium (6th: 2001 : San Diego). June 4-7, 2001

National Geographic. October 2007. Vol. 212. No. 4

Natsource, Abril 2005. <http://www.natsource.com>

New York Board Trade (NYBOT), Mayo 2006. Markets: Sugar. <http://www.nybot.com>

OLichts F. (2005). *International sugar and sweetener report 137:27 september 04* Petróleos Mexicanos (PEMEX), Dirección Corporativa de Operaciones. *Evaluación del uso de etanol para la producción de gasolinas*. Enero 2006. <http://www.pemex.com>

Prakash, 1998. *Use of higher than 10 volume percent ethanol/gasoline blends in gasoline powered vehicles, transportation systems branch*. Canada.

SAGARPA. <http://sagarpa.gob.mx>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://sagarpa.gob.mx/Dgg/ley/Lener.pdf>

Secretaría de Energía. (SENER). <http://www.sener.gob.mx>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).  
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesnormas>

Tesis: *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte.*  
Barcelona, España.

Ullmann's *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Copyright © 2008 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved. Last updated: 22 Apr 2008 7 th Edition

UNFCCC. [http://unfccc.int/ghg\\_emissions\\_data/items/3800.php](http://unfccc.int/ghg_emissions_data/items/3800.php)

UNFCCC. [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol\\_items/3329.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol_items/3329.php)

UNFCCC. <http://unfccc.int/qvery.html?col=fccc&qt=Bonn>

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).  
[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)

University of Berkeley. USA. *The carcinogenic potency proyect.*  
<http://www.potency.berkeley.edu/td50.html>