



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POTENCIAL TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE  
BIODIÉSEL A PARTIR DE ACEITE COMESTIBLE USADO  
EN MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**MARIANA ELOÍSA RAMÍREZ SUÁREZ**

DIRECTOR DE TESIS

**DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO**



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F., NOVIEMBRE 2013

A las dos personas más importantes en mi vida: mis padres.

A *Maury* por ser la mujer más fuerte, admirable y amorosa.

A *Julio* por tener el corazón más noble, por su amor infinito y por enseñarme el valor de la honestidad.

A los dos por arraigar en mí profundos valores, por proveerme de un hogar amoroso, por enseñarme a ser una mujer independiente y un ser humano valioso, por todo en realidad.

Al niño más hermoso del universo y que ilumina los días con su vocecita: mi *César*, mi hermanito-sobrino.

A mi hermanas *Sandy* y *Ely* por su cariño, porque las risas compartidas con ustedes son las mejores.

A *Tayo* por sus consejos y cuestionamientos, por toda la ayuda y apoyo, por nuestra compatibilidad, por los momentos compartidos.

A mis amigos de la Facultad y de PH por las desveladas tan divertidas y otras no tanto.

A Sonia Briceño por sus valiosas aportaciones a este trabajo, por contagiarnos su ánimo.

A la muy honorable Facultad de Ingeniería.

A las doctoras Claudia Sheinbaum Pardo y Alejandra Castro González, quienes admiro, por su importante asesoría, por ser excelentes profesoras y mujeres luchadoras.

A los profesores de la Facultad, en especial a los profesores de Sistemas Energéticos:

Dr. Víctor Rodríguez Padilla y Dr. Arturo Reinking Cejudo.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM por abrirme sus puertas.

A mi *alma mater*, la Universidad Nacional Autónoma de México. Esperando que este trabajo sea una aportación más a su acervo y al país.

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Noviembre, 2013

# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
1.1 Objetivo general y estructura de la tesis.....	6
1.2 El consumo de combustibles fósiles y el cambio climático global.....	7
1.3 Contexto del problema.....	11
<b>2. Energía y emisiones de CO<sub>2</sub> para el transporte en el mundo, en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México.....</b>	<b>14</b>
2.1 Fuentes de energía para transporte.....	15
2.2 Consumo de energía para transporte en el mundo.....	20
2.3 Consumo de energía para transporte en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México.....	23
<b>3. Biodiésel.....</b>	<b>28</b>
3.1 Biocombustibles.....	29
3.2 Biodiésel.....	30
3.2.1 Definición del biodiésel.....	30
3.2.2 Producción de biodiésel.....	31
3.2.3 Propiedades del biodiésel producido a partir de aceite vegetal.....	32
3.2.4 Normas internacionales.....	35
3.3 Estudio de caso.....	42
3.3.1 BioFuels de México.....	42
3.3.2 Descripción del proceso de producción de biodiésel.....	43
3.3.3 Costos asociados al proceso de producción.....	47
3.3.3.1 Descripción de los costos.....	47
3.3.3.2 Costo por litro de biodiésel producido.....	52
3.3.4 Balance de energía.....	55
3.3.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> durante el proceso de producción.....	56
<b>4. Potencial de aceite comestible usado para biodiésel en México y en el Distrito Federal.....</b>	<b>59</b>
4.1 Aceite vegetal: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección.....	60
4.1.1 Procedencia.....	60

4.1.2	Uso del aceite vegetal en México.....	64
4.1.3	Porcentaje de desecho.....	65
4.1.4	Problemas ambientales: agua, riesgos humanos y animales, suelo y aire.....	66
4.1.5	Recolección.....	67
4.2	Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF .....	69
4.3	Emisiones totales por la producción de biodiésel.....	81
4.4	Inversión necesaria.....	83
<b>5.</b>	<b>Potencial de uso de biodiésel .....</b>	<b>84</b>
5.1	Diesel desplazado por biodiésel.....	85
5.2	Emisiones evitadas .....	91
5.3	Costo de emisiones evitadas .....	95
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>99</b>
6.1	Conclusiones generales .....	100
	<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>102</b>
	<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>103</b>
	<b>Acrónimos .....</b>	<b>105</b>
	<b>Anexo 1</b>	
	Approved baseline and monitoring methodology AM0047 “Production of biodiésel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel” Version 02. UNFCCC/CCNUCC.....	108
	<b>Anexo 2</b>	
	European Standard EN14214 Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods. 2008 .....	134
	<b>Fuentes.....</b>	<b>150</b>

# 1. Introducción

1.1 Objetivo general y estructura de la tesis

1.2 El consumo de combustibles fósiles y el cambio climático global

1.3 Contexto del problema

La elaboración de esta investigación deriva de la necesidad de llevar a cabo acciones en favor de la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero, para ello es necesario definir a estos gases y conocer su relación con el Cambio Climático Global.

El uso de energías renovables, como los biocombustibles, desempeña un papel sumamente importante para disminuir la emisión de CO<sub>2</sub> (el principal gas de efecto invernadero) a la atmósfera en el sector transporte, siendo esta la segunda causa de emisión de estos gases.

A partir del año 2000 varias naciones han encontrado que el biodiésel, elaborado de diversas fuentes, resulta ser un combustible competitivo y se ha empezado a fabricar; elaborarlo a partir de aceite comestible usado deriva en muchas ventajas ambientales y económicas.

## 1.1 Objetivo general y estructura de la tesis

Este trabajo tiene como objetivo estimar el potencial de producción y uso de biodiésel para transporte a partir de aceite comestible usado en México y en el Distrito Federal con la finalidad de reducir emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la quema de diesel para transporte así como los impactos ambientales causados por el desecho del aceite.

En el trabajo se calcula el costo de inversión que representa la instalación de varias plantas productoras de biodiésel con tecnología ya existente en el país cuya actividad involucra la recolección de aceite comestible usado de comercios y hogares, el procesamiento y la venta final.

La tesis se divide en seis capítulos. El primero que es la introducción, se presenta la definición del problema, en particular la relación entre el consumo de la energía fósil y el cambio climático global y el papel que juegan los biocombustibles en este contexto. En el segundo capítulo se presenta un panorama general del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> para transporte en el mundo, en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México, en particular el Distrito Federal.

El tercer capítulo de la tesis explica qué es el biodiésel y cuál es el proceso de producción del mismo, en particular del proveniente de aceite comestible usado. En este mismo capítulo se presenta el estudio de caso de una planta de transformación de aceite comestible usado a biodiésel que opera en la Ciudad de México. Se calcula el consumo de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los costos de la misma.

El cuarto apartado de la tesis estima el potencial técnico y económico del biodiésel en el país y particularmente en el Distrito Federal. En el quinto presenta qué proporción de energía para transporte puede sustituirse por biodiésel así como las emisiones que se evitarían con el uso del mismo. Finalmente, en el sexto, se enlistan las conclusiones de este trabajo.

## 1.2 El consumo de combustibles fósiles y el cambio climático global

El *efecto invernadero* es un fenómeno producido por la presencia de cierto tipo de gases en la atmósfera terrestre, que actúan como un invernadero al evitar que parte de la energía solar que ingresa, salga hacia el exterior. La Tierra intercepta la radiación ultravioleta del Sol; de la cual, cerca de la tercera parte es reflejada y el resto es absorbida por diferentes componentes (atmósfera, océano, hielo, tierra y biota) del sistema climático. La energía absorbida es balanceada en el largo plazo por la energía que sale de la Tierra y de su atmósfera en forma de radiación infrarroja o calor y su magnitud está determinada por la temperatura de la Tierra [1].

Los *gases de efecto invernadero* (GEI) son necesarios para la vida, porque ayudan a mantener la superficie de la Tierra a cierta temperatura sin embargo, si la concentración de estos gases aumenta, también se incrementa la temperatura. De acuerdo con mediciones, observaciones y modelos de diversos científicos, que están plasmados en los reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los GEI han venido incrementándose durante las últimas décadas, producto principalmente de actividades humanas. Esto ha provocado un aumento en la temperatura del planeta de cerca de medio grado centígrado en los últimos 100 años, que a su vez ha provocado cambios en el clima. A los cambios naturales más los antropogénicos se le llama Cambio Climático Global. Estos cambios pueden afectar de manera peligrosa el sistema climático, estimulando cambios en la precipitación, elevación del nivel del mar, aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos [1].

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal GEI. Su concentración en la atmósfera se incrementó de 290 partes por millón (ppm) de la era preindustrial a 379 ppm en 2005. La fuente primaria del incremento en las concentraciones de GEI es la quema de combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles son el carbón, el petróleo y el gas natural. Su elemento principal es el carbono, pues su origen es biológico. Estos combustibles se formaron de materia viva fosilizada por millones de años. Debido a que su principal componente es el carbono (C), al quemarse con la atmósfera reaccionan con el oxígeno de la misma ( $\text{O}_2$ ) y forman  $\text{CO}_2$ . Este  $\text{CO}_2$  liberado a la atmósfera, permanece por periodos mayores a los 100 años, generando aumento en la concentración y provocando mayor efecto invernadero.

De acuerdo con el último reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático [2]:

- Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso mundiales han aumentado, sensiblemente, como resultado de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad han superado los valores preindustriales determinados en muestras de testigos de hielo que abarcan muchos cientos de años. El aumento global de la concentración de dióxido de carbono se debe fundamentalmente al uso de combustibles

fósiles y a los cambios del uso del suelo, mientras que el del metano y óxido nitroso se deben principalmente a la agricultura.

- El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian ahora las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y del océano, el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve, y la elevación del nivel medio del mar en el mundo.

- A escala continental, regional y de la cuenca oceánica, se han observado numerosos cambios climáticos a largo plazo. Estos incluyen cambios en la temperatura y el hielo árticos, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, la salinidad de los océanos, las pautas de los vientos y las condiciones climáticas extremas como sequías, fuertes lluvias, olas de calor y en la intensidad de los ciclones tropicales.

- Desde la era preindustrial, las emisiones crecientes de GEI debido a actividades humanas han llevado a un marcado incremento en las concentraciones atmosféricas de los GEI.

- Entre 1970 y 2004, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs y SF<sub>6</sub>, medidas por su potencial de calentamiento mundial (PCM), se han incrementado en un 70% (24% entre 1990 y 2004), pasando de 28,7 a 49 Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO<sub>2</sub>-eq).

- Las emisiones de estos gases se han incrementado en diferentes tasas. Las emisiones de CO<sub>2</sub> han aumentado entre 1970 y 2004 alrededor de un 80% (28% entre 1990 y 2004) y representaban el 77% del total de emisiones de GEI antropogénicas de 2004.

- El mayor crecimiento en las emisiones mundiales de GEI entre 1970 y 2004 provino del sector de suministro energético (un incremento de 145%). El incremento en emisiones directas del transporte en este período fue de un 120%, de la industria un 65% y de los usos del suelo, cambio de usos del suelo y silvicultura y (USCUSyS) un 40%. Entre 1970 y 1990 las emisiones directas de la agricultura crecieron un 27% y las de las construcciones un 26%, permaneciendo estas últimas en los niveles alcanzados en 1990. Sin embargo, el sector de la construcción presenta un alto nivel de uso de electricidad, y por ello el total de emisiones directas e indirectas en este sector es mucho mayor (75%) que el de emisiones directas.

A partir del incremento en la temperatura se modelan escenarios de precipitación y elevación del nivel del mar. La relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a nivel mundial y los cambios en el clima se muestra en la Tabla 1.1



Relación entre emisiones de CO <sub>2</sub> y cambio climático			
Incremento en la temperatura	Concentración de emisiones	Concentración de emisiones	Emisiones de CO <sub>2</sub> 2050
[°C]	Todos los GEI CO <sub>2</sub> eq. [ppm]	CO <sub>2</sub> [ppm]	(% reducción respecto al 2000)
2.0-2.4	445-490	350-400	-85 a -50
2.4-2.8	490-535	400-440	-60 a -30
2.8-3.2	535-590	440-485	-30 a +5
3.2-4.0	590-710	485-570	+10 a +60
4.0-4.9	710-885	570-660	+25 a +85
4.0-6.1	885-1130	660-790	+90 a +140

Fuente: IPCC [2]

Tabla 1.1 Relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y cambio climático

Esta tabla muestra que se requieren reducciones de entre 50% y 85% de las emisiones de GEI del año 2000, para el año 2050, si se quiere limitar la temperatura promedio de la superficie de la Tierra en el largo plazo, a un aumento de entre 2°C y 2.4°C.

Esta meta es sumamente ambiciosa pero necesaria, si quieren limitarse los impactos del cambio climático global.

La producción y consumo de energía representan alrededor del 65% de las emisiones de GEI. Tan sólo el transporte representa el 13.1% del total de emisiones producidas por energía, cambio de uso de suelo, agricultura y ganadería, industria y residuos [2].

Por esta razón, la urgencia de encontrar opciones de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de combustibles fósiles. La vía principal para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> es reducir el consumo de combustibles fósiles a través de la sustitución de las mismas por fuentes de energía renovable o a través de mayor eficiencia energética.

Las fuentes renovables de energía son principalmente la solar, la eólica, las mareas y olas, la hidráulica, la geotérmica y la biomasa. En el caso de la biomasa, se considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> son nulas, porque el ciclo del carbono entre la absorción por fotosíntesis y la emisión por combustión es muy corto. Es decir todo el carbono liberado por la combustión es absorbido por la fotosíntesis en un periodo corto, por lo que no se acumula en la atmósfera. En este contexto es que han adquirido mayor importancia los biocombustibles.

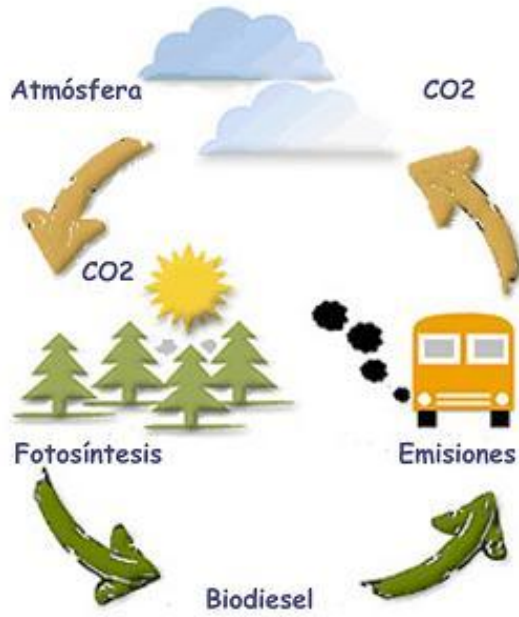


Figura 1.1 Ciclo del CO<sub>2</sub> al quemar biodiésel [3]

### 1.3 Contexto del problema

Hoy en día la tendencia en el consumo de energía se ha vuelto un problema económico, ambiental y socialmente insostenible ya que ha sido desmesurado y dado el incremento poblacional mundial y los actuales patrones de consumo, se estima que los recursos energéticos fósiles (carbón, petróleo y gas natural) serán insuficientes para las siguientes generaciones.

La quema de combustibles fósiles para el sector transporte es la segunda causa, después de la generación de energía eléctrica, de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) entre estos el CO<sub>2</sub>, que se han acumulado en la atmósfera, reflejando la radiación infrarroja proveniente de la superficie de la Tierra y provocando un aumento en la temperatura de la misma. .

La Agencia Internacional de Energía (IEA – International Energy Agency) estima que si el consumo de energía sigue incrementándose a la misma tasa, para el 2050 las emisiones de GEI serán el doble que las de hoy en día y se pondrá en riesgo el suministro de energía para todos los sectores por lo que es necesario redireccionar nuestros hábitos de consumo hacia nuevas fuentes y nuevas tecnologías sostenibles.

Este trabajo se sitúa en el sector transporte cuyas alternativas energéticas a los combustibles fósiles contemplan el uso de biocombustibles que hoy en día proveen cerca del 2% de energía en el mundo [4]. Se estima que para el año 2050 los biocombustibles contribuyan con un 27% al consumo de energía para transporte en el mundo con lo que se lograrán importantes reducciones en la emisión de GEI, se generarán empleos y habrá mayor seguridad energética [4]. Para lograr esto es necesario establecer políticas que vigilen la producción, comercialización y uso de biocombustibles. Es importante señalar que se debe garantizar la generación de biocombustibles sin poner en riesgo la seguridad alimentaria.

Los biocombustibles que pueden utilizarse sin mayores dificultades en el sector transporte son el bioetanol para motores a gasolina y el biodiésel para motores a diesel, ambos en mezcla con gasolina o diesel según sea el caso, sin necesidad de realizar cambios en la estructura o materiales de los motores.

En la actualidad, el biodiésel, se fabrica a partir de aceites vegetales comestibles y no comestibles. Las fuentes para la producción de aceites son muy variadas, entre ellas se encuentran la semilla de soya, de colza, jatropha, girasol, cártamo y aceite de palma.

Los biocombustibles pueden ser elaborados con una amplia gama de productos agrícolas y forestales. Desde 2000, su producción en el mundo ha crecido a un ritmo anual de 10%, totalizando 90,187 millones de litros en 2009. De ese total, 82% corresponde a bioetanol y 18% a biodiésel, especifica el Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe [5]. Brasil es el segundo productor de bioetanol del mundo, con 33.2% de participación en el mercado, detrás de Estados Unidos, responsable de 54,7% de la producción mundial, según datos de 2009.

Argentina, por su parte, es el segundo productor mundial de biodiésel, con 13.1% del mercado, también después de Estados Unidos, que lidera con 14.3%. Brasil se ubica en quinto lugar, con 9.7% de participación.

En el mundo, el biodiésel se produce a partir de diferentes plantas oleaginosas. Parte de la discusión acerca de la viabilidad de los biocombustibles es que al provenir de productos agrícolas, compiten con la alimentación en agua y tierra, además de que el uso de energía para riego y fertilizantes puede ser muy alto para el bajo contenido energético de la biomasa.

Para que sea posible la producción de biodiésel se debe incluir la planeación técnica, económica, ambiental, realizar investigaciones, inversiones, desarrollar tecnología, etcétera [6]. Actualmente México tiene un potencial importante en la producción de biodiésel a partir de *jatropha* por ser una planta originaria del país, sin embargo no se tiene suficiente experiencia a nivel internacional en el manejo de plantaciones de *jatropha*.

Además de los cultivos oleaginosos, el biodiésel puede producirse a partir de celulosa, pero su producción es aún piloto. Otra forma de producirlo es a partir de aceites y grasas vegetales y animales recicladas pero cada tipo de materia prima requiere un pretratamiento diferente para garantizar la calidad del producto final. Mediante una reacción química llamada *transesterificación* puede obtenerse biodiésel a partir de aceite vegetal usado, a precios competitivos ya que el aceite reciclado no requiere grandes tratamientos previos a la conversión como en el caso de las semillas que requieren refinar para obtener aceites.

Mediante un programa de recolección adecuado el aceite desechado proveniente de la elaboración de alimentos de hogares y comercios podría utilizarse para elaborar biodiésel a un costo competitivo.

La producción de biodiésel a partir de aceite reciclado trae consigo grandes beneficios además del aspecto económico ya que al recolectar aceite comestible usado se logra combatir el problema que éste genera al desecharlo.

Una vez que el aceite cumple su función en la preparación de alimentos este es desechado al desagüe lo que genera que se contaminen hasta 1000 litros de agua por cada litro de aceite vertido [7], como el aceite es más ligero tiende a esparcirse en grandes membranas finas que dificultan la oxigenación del agua [8], al llegar esta a los centros de tratamiento se requieren químicos especiales para separar el aceite usado y otros desechos del agua que resultan costosos. En la Ciudad de México la contaminación de los desagües es grave, además de la contaminación del agua se requiere mantenimiento constante para limpiar las tuberías y evitar aglomeración de desechos sólidos, el depósito de aceite usado agrava esta situación.

A pesar de que la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal [9] sugiere que los productores de desechos tengan el compromiso de darle un destino final adecuado a estos son pocas las personas y comercios que adoptan esta recomendación.

En su estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para Transporte en México” [6] la SENER plantea la posibilidad de instalar 140 plantas refinadoras de aceites vegetales y productoras de biodiésel con capacidad de 5000 toneladas anuales y costos de inversión de 311 millones de pesos de manera que podría sustituirse entre el 2% y 5% del diesel de petróleo por biodiésel de aceites de semillas oleaginosas. Estima también que de ser posible la sustitución de este porcentaje de diesel se lograría reducir 7.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> para el año 2014 a partir de aceites de semillas.

## 2. Energía y emisiones de CO<sub>2</sub> para el transporte en el mundo, en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México

Los energéticos principales en el mundo son derivados del petróleo, en este capítulo se describen nueve de ellos, mencionando principalmente cómo son sus características más importantes.

En el mundo el 19% de la energía que se consume es para transporte y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por este sector contribuyen en un 23% del total mundial, por lo que lograr una disminución de estos representa un porcentaje importante. Es en los países desarrollados donde se han llevado a cabo más acciones para favorecer la disminución de energéticos derivados del petróleo para transporte debido a que se cuenta con más recursos y tecnología.

En México, el 26% de la energía para transporte es del diesel, particularmente en la ZMVM el 21% de las emisiones de GEI provienen de vehículos que usan este combustible. Se ha encontrado además que estos motores generan tres veces más emisiones por km recorrido que los motores a gasolina.

*2.1 Fuentes de energía para transporte*

*2.2 Consumo de energía para transporte en el mundo*

*2.3 Consumo de energía para transporte en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México.*

## 2.1 Fuentes de energía para transporte

Las fuentes de energía para transporte en el mundo son mayoritariamente los combustibles provenientes del proceso de refinación de petróleo crudo.

Algunos de los criterios en la elección de uno u otro combustible son los siguientes:

- i) Costo razonable.
- ii) Buen rendimiento. Niveles competitivos (número de octano, cetano, capacidad calorífica, fácil y seguro almacenamiento)
- iii) Impactos ambientales menores. Contenido de carbono, volatilidad, contenido de impurezas (azufre)
- iv) Sustentabilidad. Asegurar la existencia para suministro durante largo tiempo o indefinidamente.

Los productos de la refinación del petróleo comprenden a la gasolina, diesel, combustóleo turbosina, parafinas, entre otros; de los cuales la gasolina y el diesel son los energéticos más utilizados en el transporte terrestre debido a que cumplen con las características químicas a emplearse en motores a ciclo diesel y otto. Estas tecnologías tienen preferencia entre los usuarios para desplazarse debido a que su tamaño es reducido y su fácil operación. Ambos combustibles han sido reformulados para cumplir con normas y regulaciones con el fin de obtener un mejor desempeño así como menores impactos ambientales [10].

Sin embargo, como se mencionó previamente, la quema de hidrocarburos, como diesel y gasolina, provoca emisiones de GEI que al depositarse en la atmósfera provocan el fenómeno conocido como *efecto invernadero* causando el incremento de la temperatura de la superficie de la Tierra con alteraciones graves en el clima.

Por otro lado estos combustibles provenientes del petróleo son finitos, su uso no sólo en el transporte si no también en otras áreas como la generación de energía o usos industriales a lo largo de varias generaciones han provocado su decadencia y encarecimiento por lo que en los últimos años se ha recurrido a otras fuentes de energía para transporte ya existentes o en desarrollo.

A continuación se describen de manera general los combustibles más utilizados en el mundo para transporte en el mundo [10].

### I. Gasolina

Este combustible es una mezcla de hidrocarburos con algunos contaminantes incluidos el azufre, nitrógeno y algunos metales. Los cuatro grupos constituyentes de la gasolina son las olefinas, aromáticos, parafinas y naftenos; estos grupos varían en su nivel de octanaje y reactividad por lo que para conocer las especificaciones de la gasolina es necesario conocer en qué porcentaje se encuentran los componentes en la mezcla.

Las características deseables de la gasolina son volatilidad, resistencia antidetonante, deposición mínima en la máquina, combustión completa, bajas emisiones

contaminantes y estabilidad económica. Una de las desventajas de la gasolina (así como el diesel) es que se degrada muy lentamente por lo que los derrames pueden provocar contaminación de suelos y mantos acuíferos.

Existen también las gasolinas reformuladas, que fueron diseñadas con el objetivo de reducir emisiones (compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y otros componentes tóxicos) y evaporarlas al reducir la volatilidad del combustible, la concentración de aromáticos (especialmente el benceno) y la volatilidad de olefinas. Muchos estudios confirman que el uso de estas gasolinas tiene un efecto positivo al compararse con las gasolinas convencionales en la calidad del aire.

## *II. Diesel*

Es otro producto resultado de la destilación del petróleo más complejo en composición que la gasolina. Tiene mayor capacidad calorífica por lo que su rendimiento es mayor al utilizarse en una máquina, esta característica lo hace tener también beneficios económicos sobre la gasolina.

Sus características importantes son el número de cetano (que indica la calidad de ignición), densidad, volatilidad, viscosidad y anticorrosión. Cabe señalar que el número de cetano indica que tan fácilmente el combustible autoenciende, mientras más bajo sea este indicador la combustión será incompleta sobre todo en los lugares de climas fríos. La viscosidad es una característica fundamental para la inyección en la cámara de combustión al arranque de la máquina.

El alto contenido de azufre en el diesel es una característica desfavorable ya que es el componente responsable de las emisiones y partículas suspendidas que se generan, sin embargo hoy ya se produce diesel de ultra bajo contenido de azufre con contenidos de 15 ppm (partes por millón), mucho menores a las 500 ppm del diesel convencional.

## *III. Biodiésel*

Es un sustituto del diesel dado que sus características químicas similares es el Biodiésel derivado de biomasa o de grasas animales y vegetales. En Europa se produce principalmente de semillas de colza y en Norte América de semilla de soya. Su uso y producción presenta enormes ventajas al ser un producto renovable a diferencia del diesel de petróleo, su uso reducirá la dependencia de combustibles fósiles, la emisión de GEI, contaminación del aire ligado a enfermedades respiratorias y se generarán empleos locales.

El problema de los biocombustibles, entre ellos el biodiésel, está asociado a la competencia con la alimentación, por la tierra y el agua. Sin embargo, diversas fuentes de producción del biodiésel como la celulosa, el aceite comestible usado o la producción alternada de granos para la alimentación y para combustibles, permiten producir de forma sustentable este combustible. Aun la producción de biocombustibles resulta más costosa que el diesel o la gasolina.



#### IV. *Diesel Fischer-Tropsch*

Fischer-Tropsch es un proceso de producción en el que se obtiene un combustible equivalente al diesel de petróleo a partir de gas natural o carbón. El diesel obtenido a través de este proceso no contiene azufre y pocos aromáticos además de un alto número de cetano, estas propiedades lo hacen muy atractivo para usarse en máquinas a diesel. La inversión para llevar a cabo este proceso resulta costosa aunque con un rendimiento alto comparado con el de la refinación convencional. La quema de este combustible, sin embargo sigue representando emisiones de GEI.

#### V. *Gas Natural comprimido*

Es un combustible fósil por lo tanto no renovable como aquellos provenientes de la refinación del petróleo. Dado que el gas natural está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros hidrocarburos (propano, butano o pentano) presenta una combustión más limpia que la gasolina y el diesel así como un alto número de octano por lo que puede utilizarse en máquinas de compresión.

El metano presenta una alta resistencia a la auto ignición por lo que se requiere más energía para encenderlo que otros hidrocarburos. El rendimiento de la máquina se ve reducido con la presencia de metano debido a que hay menos aire en el interior.

Al quemarse el gas natural genera menos  $\text{CO}_2$  que la gasolina o el diesel. Otro beneficio importante de este combustible es que no produce otros aromáticos tóxicos y cancerígenos que si producen el diesel y la gasolina.

#### VI. *Alcoholes*

##### VI.i *Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )*

El etanol tiene un alto número de octano, amplios límites de inflamabilidad y mayores valores de vaporización que la gasolina. Presenta algunas desventajas frente a la gasolina como su baja densidad, corrosión, miscibilidad con el agua, baja presión de vapor y toxicidad. Sin embargo puede ser utilizado al mezclarlo con gasolina lo que generaría un incremento en su volatilidad facilitando el arranque del motor.

El etanol puede producirse a partir de petróleo y gas natural por hidratación de etileno, también a partir de biomasa por fermentación de azúcar derivada de almidones de cereales o cultivos de azúcar o bien de la biomasa que contenga lignocelulosa (como la caña de azúcar y el maíz), sin embargo la demanda creciente de este combustible competiría con la producción de alimentos teniendo graves impactos sociales. La producción de etanol a partir de caña de azúcar en tierras degradadas son alternativas que se han venido generando en Brasil, el principal productor y consumidor de etanol en el mundo.

### *VI. ii Metanol (CH<sub>3</sub>OH)*

El metanol tiene un número alto de octanaje y flamabilidad limitada por lo que es menos probable que encienda en espacios abiertos que la gasolina al ocurrir un derrame. Es corrosivo, altamente tóxico, incoloro, inodoro e insípido. Posee menor energía debido a la gran cantidad de oxígeno presente en su molécula. Provee la mitad de energía que la gasolina por lo que combinarlo con esta resulta más eficiente.

El metanol contiene menor cantidad de carbono que el diesel o la gasolina por lo que produce menos CO<sub>2</sub> al quemarse.

Generalmente el metanol se produce a partir de gas natural pero puede obtenerse también a partir de madera, carbón, o algún otro material que contenga carbono que pueda producir gas de síntesis. Se utiliza principalmente en la industria química.

### *VII. Hidrógeno (H)*

El hidrógeno es un líquido incoloro e inodoro. Como sucede con la electricidad, el hidrógeno es un portador de energía, no una fuente de energía en sí. Al oxidarse produce vapor de agua y no CO<sub>2</sub> como otros combustibles de origen fósil. La combustión del hidrógeno en el aire puede resultar en la formación de NO<sub>x</sub> (Óxidos nitrosos) aunque a niveles controlados. Tiene un octanaje alto y mayores límites de flamabilidad que la gasolina, dado que es un gas al haber un derrame se dispersa más rápidamente que la gasolina. Es un gas no tóxico y no cancerígeno. Su flama alcanza temperaturas muy altas aunque no irradia mucho calor lo que dificulta su localización al quemarse.

Dado que se trata de un gas se requieren grandes espacios para almacenarlo, lo que dificulta su contención. La producción de hidrógeno puede hacerse de varias maneras, las más comunes son al procesar gas natural o mediante la electrólisis del agua. Su producción resulta aun sumamente costosa.

### *VIII. Gas Licuado de Petróleo (GLP)*

Este gas es resultado del procesamiento de una fracción de hidrocarburos ligeros durante el proceso de refinación de petróleo crudo y de componentes pesados del gas natural que son removidos antes de que el gas sea distribuido.

En Estados Unidos se tiene gran experiencia en el uso de GLP en vehículos, este gas es principalmente propano aunque puede encontrarse también en mezclas con butano. En México también se utiliza. Los problemas del GLP tienen que ver con las fugas, que además de ser peligrosas tienen altos contenidos de aromáticos que son tóxicos y de gran reactividad para la formación de ozono.

Aun cuando el GLP tiene menos carbono que la gasolina sigue siendo un combustible fósil que emite GEI durante su combustión.

### IX. *Electricidad*

Existen automóviles que utilizan bancos de batería recargables para su funcionamiento, aunque estas tecnologías se consideran “cero emisiones” al no generar en su uso emisiones contaminantes es importante señalar que la energía eléctrica necesaria para recargar las baterías puede provenir de fuentes que sí son contaminantes. Si se trata de energía generada por plantas de fuentes renovables podemos decir que se tratan estrictamente de vehículos cero emisiones, sin embargo si se trata de energía generada por la quema de combustibles fósiles como carbón o gas natural el término “cero emisiones” no será el apropiado.

Existen también los autos híbridos que funcionan con gasolina-electricidad o diesel-electricidad. Estos automóviles comercializables en diversos lugares del mundo funcionan con baterías recargables con el movimiento del vehículo a bajas velocidades y operan con motor de combustión interna a altas velocidades. Esto los hace sumamente eficientes en comparación con el vehículo convencional. Por otro lado, el vehículo eléctrico comienza a tener un gran desarrollo en Europa, ha facilitado su comercialización el desarrollo de baterías de litio que son de mayor eficiencia y menor tiempo de recarga que las de otros materiales.

## 2.2 Consumo de energía para transporte en el mundo

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE), 19% del consumo mundial de energía y 23% de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía se deben al transporte. De acuerdo con las tendencias actuales, se espera que la energía y emisiones de este sector aumenten en 50% para el año 2030 y más del 80% para el año 2050 [11].

La AIE estima que para reducir los consumos se deberán usar diversas fuentes de energía entre las que se encuentran de manera importante los biocombustibles. La Figura 2.1 muestra diversos escenarios propuestos conocidos como escenarios de línea base (baseline) que son tendenciales y de menor consumo (escenarios blue). Esto se lograría sustituyendo combustibles y haciendo más eficiente el consumo.

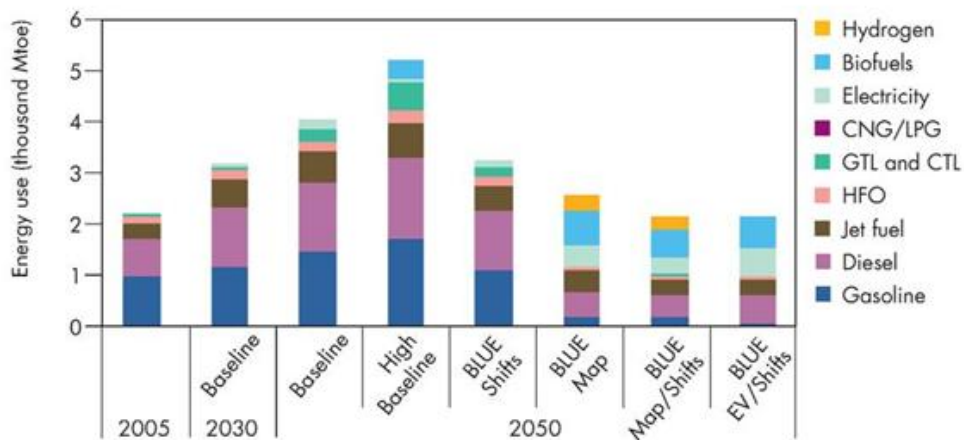


Figura 2.1 Escenarios propuestos por la IEA para reducir el consumo de energía del transporte. Hydrogen (hidrógeno); Biofuels (biocombustibles); Electricity (electricidad); CNG/LPG (gas natural comprimido/gas licuado de petróleo); GTL and CTL (gas a líquido y carbón a líquido); HFO (combustóleo pesado); Jet fuel (combustible para avión).

De acuerdo con la OPEP [1] en los países en desarrollo la tendencia ha ido en aumento en el consumo de hidrocarburos para transporte mientras que en los países desarrollados el crecimiento es menor debido a que se ha logrado impulsar nuevas tecnologías como vehículos híbridos que permiten disminuir el consumo de combustibles o bien la preferencia del usuario a disminuir su consumo debido a los altos costos que estos tienen, particularmente en Europa.

La Tabla 2.1 muestra cómo ha evolucionado la demanda de productos refinados del petróleo por región en el mundo. Se aprecia que la mayor demanda la tienen los destilados intermedios que incluyen a la gasolina y el diesel debido a su uso en el transporte.

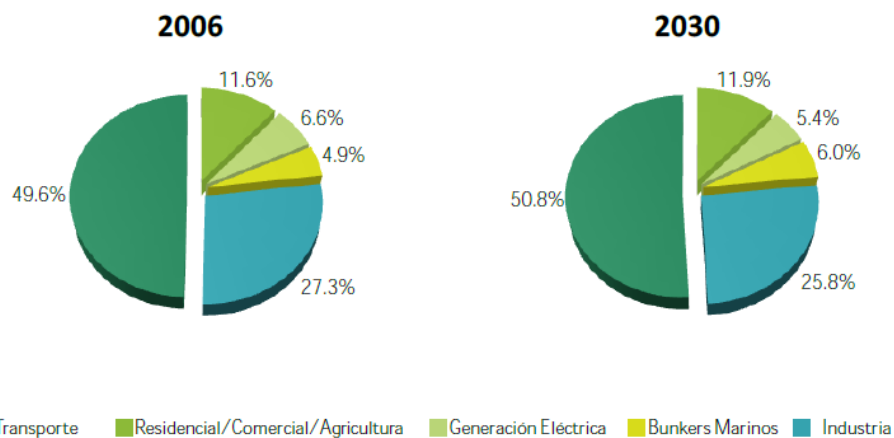
**Evolución de la demanda de productos petrolíferos por región, 1999-2009  
(miles de barriles diarios)**

	Norteamérica		Centro y Sudamérica		Europa		Rusia		Medio Oriente		África		Asia Pacífico	
	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009	1999	2009
Destilados Ligeros	9,998	10,803	1,650	1,812	4,386	3,328	880	1,112	899	1,583	582	719	5,553	7,817
Destilados Intermedios	6,628	6,332	1,625	2,011	6,690	7,642	1,022	1,222	1,513	2,257	1,006	1,356	7,613	9,326
Combustoleo	1,415	814	715	791	2,093	1,491	936	421	1,300	1,776	501	420	3,694	3,083
Otros	5,245	4,877	915	1,040	2,877	2,947	877	1,210	978	1,530	401	586	3,657	5,771

Fuente: *BP Statistical Review of World Energy, June 2010.*

*Tabla 2.1 Demanda de productos petrolíferos.*

**Distribución porcentual de la demanda de petrolíferos por sector de consumo, 2006 y 2030.**



Fuente: *World Oil Outlook 2009, OPEP.*

*Figura 2.2 Distribución de la demanda de petrolíferos.*

Estados Unidos es el país con el mayor parque vehicular en el mundo con lo que se concluye que es el país que más demanda recursos energéticos para transporte, no sólo combustibles sino toda la infraestructura necesaria para su mantenimiento, operación, vialidades, etcétera. Sin embargo en los últimos años ha presentado una disminución en su consumo. En la Tabla 2.2 se muestra cómo se espera que el consumo de combustibles sea para los próximos años. Cabe señalar que las tasas de crecimiento positivas corresponden a aquellas zonas en vías de desarrollo.

## Consumo de energía para transporte en el mundo

Demanda de combustible en autotransporte en zonas seleccionadas  
(millones de barriles de petróleo crudo equivalente)

Región/país	2007	2010	2020	2030	tmca % 2007-2030
Norteamérica	12.8	11.5	11.4	10.8	-0.7
Europa Occidental	6.3	6.0	5.8	5.6	-0.5
OCDE Pacífico	2.6	2.4	2.3	2.0	-1.1
<b>OCDE</b>	<b>21.7</b>	<b>19.8</b>	<b>19.5</b>	<b>18.4</b>	<b>-0.7</b>
Latinoamérica	1.9	2.0	2.3	2.5	1.2
Medio Oriente y África	1.2	1.3	1.7	2.2	2.7
Sur de Asia	0.9	1.0	2.1	3.7	6.3
Sureste de Asia	1.8	1.9	2.5	3.1	2.4
China	1.8	2.0	3.4	4.2	3.8
OPEP	2.6	3.0	3.8	4.8	2.7
<b>Países en desarrollo</b>	<b>10.2</b>	<b>11.2</b>	<b>15.8</b>	<b>20.4</b>	<b>3.1</b>
Ex-URSS	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3
Otras economías en transición	0.8	0.8	1.0	1.3	2.1
<b>Economías en transición</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>	<b>2.1</b>	<b>2.4</b>	<b>1.8</b>
<b>Mundo</b>	<b>33.5</b>	<b>32.7</b>	<b>37.5</b>	<b>41.2</b>	<b>0.9</b>

Nota: Los totales pueden no coincidir debido al redondeo de cifras.

Fuente: *World Oil Outlook 2009*, OPEP

*Tabla 2.2 Demanda de combustibles para autotransporte en el mundo*

El aumento en el consumo esperado para las próximas décadas generará mayores emisiones de gases de efecto invernadero y mayor presión sobre los recursos no renovables.

De acuerdo con el último reporte del IPCC, en 2004, el transporte representó el 23% de las emisiones de GEI asociadas al consumo y producción de energía.

### 2.3 Consumo de energía para transporte en México y en la Zona Metropolitana del Valle de México.

En el año 2010 México tuvo un consumo de combustibles para transporte de 2,247.73 PJ compuesto por *autotransporte, aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico* (Tabla 2.3). El sector *autotransporte* consume el 92.09 % de la energía total siendo la gasolina el combustible más usado contribuyendo con un 72.05 % en este sector, seguido del diesel con una contribución del 25.95 % [12].

Consumo de energía en el sector transporte (petajoules)					
	2009	2010	Variación porcentual (%) 2010/2009	Estructura porcentual	
				2009 %	2010 %
<i>Transporte</i>	2227.79	2247.73	0.89	100.00	100.00
<i>Autotransporte</i>	2057.90	2069.87	0.58	92.37	92.09
Total de petrolíferos	2057.36	2069.39	0.58	99.97	99.98
Gas licuado	40.67	40.92	0.63	1.98	1.98
Gasolinas	1497.82	1491.35	-0.43	72.78	72.05
Diesel	518.87	537.12	3.52	25.21	25.95
Gas seco	0.54	0.48	-10.70	0.03	0.02
<i>Aéreo</i>	110.81	114.29	3.14	4.97	5.08
Total de petrolíferos	110.81	114.29	3.14	100.00	100.00
Gasolinas	0.94	0.93	-1.42	0.85	0.81
Querosenos	109.87	113.36	3.17	99.15	99.19
<i>Marítimo</i>	31.33	32.91	5.04	1.41	1.46
Total de petrolíferos	31.33	32.91	5.04	100.00	100.00
Diesel	26.56	28.07	5.66	84.79	85.29
Combustóleo	4.77	4.84	1.58	15.21	14.71
<i>Ferrovial</i>	23.90	26.52	10.98	1.07	1.18
Total de petrolíferos	23.76	26.38	11.02	99.42	99.46
Diesel	23.76	26.38	11.02	99.42	99.46
Electricidad	0.14	0.14	4.37	0.58	0.54
<i>Eléctrico</i>	3.86	4.14	7.39	0.17	0.18
Electricidad	3.86	4.14	7.39	100.00	100.00

Fuente: Sistema de Información Energética, Sener.

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

Tabla 2.3 Consumo de energía para transporte, BNE 2010. Fuente SENER

La gasolina es el combustible para el transporte predominante debido a que el parque vehicular en México se compone principalmente de automóviles, camionetas y camiones ligeros a gasolina [13].

De acuerdo con el Banco de información Económica (BIE) del INEGI, para el año 2011 había 22,175,785 automóviles registrados en el país, los cuales crecieron a una tasa del 5.9% anual entre 1991 y 2011 [14], (Figura 2.3).

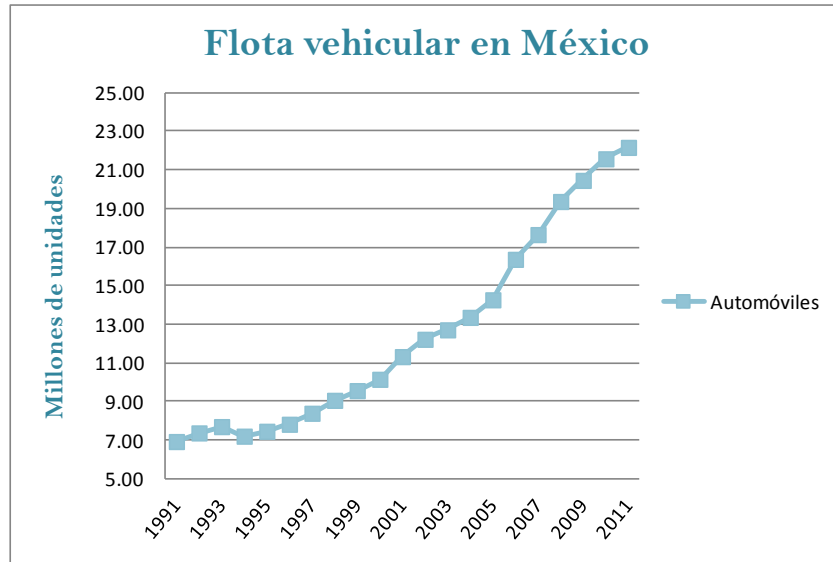


Figura 2.3 Automóviles registrados en el país. Fuente INEGI.

Del BNE 2010 se observa que el consumo de diesel en ese año fue de 537.12 PJ para el sector autotransporte, considerando su poder calorífico y densidad, este consumo se traduce en una cantidad de 15 mil millones de litros de diesel en un año (Tabla 2.4).

Consumo de diesel para transporte en México (BNE 2010)	
[PJ]	[Millones de Litros]
537.12	15,034.64

Tabla 2.4. Consumo de diesel para autotransporte en México 2010. Fuente: elaboración propia con datos del BNE 2010

En este año, el consumo final total de diesel fue de 756.58 PJ de los cuales 223.98 PJ (BNE pág 56) son exportaciones principalmente de Estados Unidos para lograr cubrir la demanda.

La mayor parte del diesel en México se consume por vehículos pesados de carga y pasajeros. De acuerdo con el BIE del INEGI el número de autobuses para pasajeros alcanzó en 2011 367,604 unidades. En el caso del transporte de carga, que incluye camionetas a gasolina y camiones pesados el número registrado fue de 9,620,726 unidades para el mismo año (Figura 2.4).



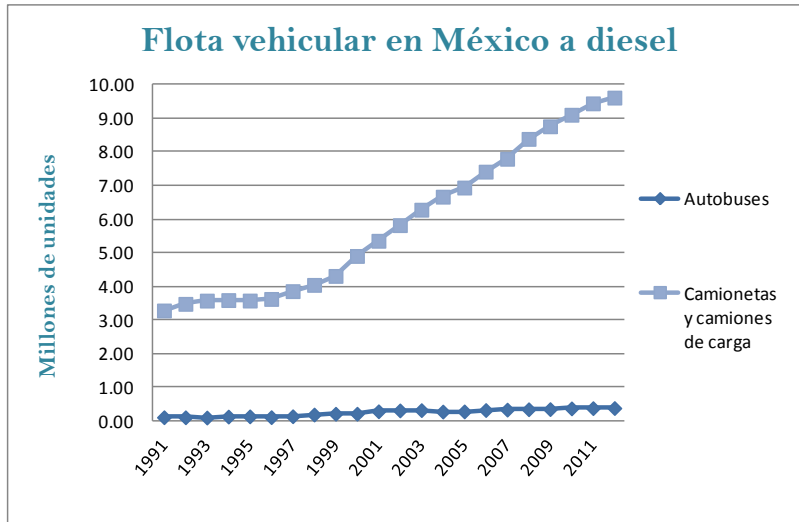


Figura 2.4. Autobuses, camionetas y camiones de carga registrados en México. Fuente INEGI

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI, las emisiones de México de CO<sub>2</sub> en el año 2006 fueron de 492,862.2 Gg, con una contribución del 69.5% al total del inventario y con un incremento de 27% con respecto a 1990. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en el país provienen principalmente por la quema de combustibles fósiles, USCUSyS y procesos industriales.

Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2006 son: transporte con 27.2%, generación eléctrica con 22.8%, manufactura y construcción con 11.5%, consumo propio de la industria energética con 7.4%, tierras agrícolas con 7.3% y otros (residencial, comercial y agropecuario) con 6.2%. Como puede observarse, cinco de las fuentes de emisión pertenecen al consumo de combustibles fósiles de la categoría energía; éstas aportan el 75.1% del total de CO<sub>2</sub> del inventario.

De acuerdo con el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México publicado por la Comisión Ambiental Metropolitana [1], en el año 2010 se cuantificaron poco más de 21 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a causa del uso de vehículos para transporte. La Tabla 2.5 muestra el número de vehículos y la contribución de emisiones de estos.

Consumo de energía para transporte en México y en la ZMVM

Tipo de vehículo	Número de vehículos	Emisiones de GEI del transporte carretero en la ZMVM		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Autos particulares	3,395,800	10239732	2330	789
Taxis	155,126	2541475	374	211
Combis	239,746	681868	170	74
Microbuses	36,056	743058	149	40
Pick up	133,352	814809	244	86
Vehículos ≤ a 3 ton	81,628	613398	81	26
Tractocamiones	60,938	1552755	5	4
Autobuses	43,108	1903637	22	8
Vehículos > a 3 ton	100,819	1689973	207	64
Motocicletas	180,701	359151	178	13
<b>Total</b>	<b>4,427,274</b>	<b>21,139,856</b>	<b>3,760</b>	<b>1,315</b>

Tabla 2.5 Emisiones de GEI en la ZMVM. Fuente. Secretaría del Medio Ambiente

En la ZMVM el combustible más usado es la gasolina que corresponde al 95% de la flota vehicular mientras que el 4% son vehículos a diesel y el restante 1% usan gas LP y gas natural; dichos vehículos contribuyen en un 77%, 21% y 2% respectivamente a la generación de misiones de GEI. Véase Tabla 2.6.

Tipo de combustible	Flota vehicular	Aportación porcentual de emisiones de GEI
Gasolina	95%	77%
Diesel	4%	21%
Gas LP/Gas Natural	1%	2%

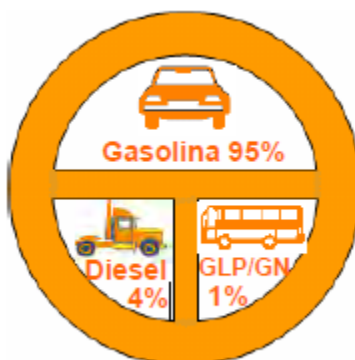


Tabla 2.6. Distribución porcentual de emisiones de GEI en la ZMVM. Fuente. Secretaría del Medio Ambiente

Aún cuando la flota de vehículos a diesel es mucho menor que la de vehículos a gasolina es notorio que este combustible contribuye a la emisión de GEI en mayor medida. Un vehículo a gasolina emite 266 gr de CO<sub>2</sub> por km recorrido, mientras que un vehículo a diesel emite 833 gr de CO<sub>2</sub> por km recorrido, es decir 3 veces más que un vehículo a gasolina, es por esto que la contribución total de emisiones de GEI por esta tecnología es

## Consumo de energía para transporte en México y en la ZMVM

mayor. La Tabla 2.7 muestra la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por tipo de combustible en la ZMVM.

Emisiones del transporte carretero por tipo de combustible			
Fuente	Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub>		
	[ton/año]		
	Gasolina	Diesel	Total
Autos particulares	10,505,567	12,095	<b>10,517,662</b>
Taxis	2,611,589	3,002	<b>2,614,591</b>
Combis	701,188	1,783	<b>702,971</b>
Microbuses	498,194	3,719	<b>501,913</b>
Pick up	833,126	9,245	<b>842,371</b>
Vehículos ≤ a 3 ton	321,882	280,427	<b>602,309</b>
Tractocamiones	N/A	1,553,825	<b>1,553,825</b>
Autobuses	70,071	1,833,815	<b>1,903,886</b>
Vehículos > a 3 ton	846,547	749,411	<b>1,595,958</b>
Motocicletas	367,057	N/A	<b>367,057</b>
<b>Total</b>	<b>16,755,221</b>	<b>4,447,322</b>	<b>21,202,543</b>

Nota: No incluye las emisiones de GEI generados por la combustión del gas licuado de petróleo ni del gas natural comprimido, debido a que en suma estos dos gases representan menos del 2% de las emisiones totales de este sector.

Tabla 2.7. Emisiones por combustible en la ZMVM. Fuente. Secretaría del Medio Ambiente

El total de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la quema de diesel y gasolina para el sector transporte es de 21 millones de toneladas. Los vehículos a gasolina contribuyen en un 79% (16,755,221 vehículos) y los vehículos a diesel contribuyen en un 21% (4,447,322 vehículos), siendo los automóviles particulares principalmente, los tracto-camiones y autobuses los vehículos que generan más emisiones.

## 3. Biodiésel

### *3.1 Biocombustibles*

### *3.2 Biodiésel*

### *3.3 Estudio de caso*

El biodiésel, biocombustible de primera generación, es equivalente por sus características físicas al diesel. Se produce mediante el proceso de transesterificación por ser el método con más alta eficiencia, dicho proceso se describe en este Capítulo hasta el proceso final para la obtención de biodiésel de calidad.

Las normas oficiales internacionales vigentes para el uso del biodiésel son la ASTM D6751 (Estados Unidos) y la EN14214 (Unión Europea), la primera emitida en 2001 y la segunda en 2008.

En el Distrito Federal ya existe una planta productora de biodiésel a partir de aceite comestible usado: BioFuels de México, que basa su proceso en la metodología AM0047 elaborada por el IPCC como un Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Producir biodiésel de esta materia prima resulta un negocio competitivo ya que el precio final del producto puede llegar a ser menor o igual al de un litro de diesel, además la energía requerida para producirlo es apenas una fracción de la que aportará al usarse, la producción es un proceso que genera pocas emisiones: 150 gr de CO<sub>2</sub> por cada litro.

### 3.1 Biocombustibles

Se le denomina *biocombustible* a aquel recurso energético proveniente del tratamiento de la biomasa, es decir de materia de origen orgánico. Puede clasificarse de diversas maneras, una de ellas es por el origen de la materia prima y por la tecnología de transformación [15].

Clasificación de los biocombustibles por generaciones				
Generación	Insumo	Ejemplo	Tecnología usada	Biocombustible obtenido
1a.	Insumos de procedencia agrícola con alto de almidón, azúcares y aceites	Jugo de caña, granos de maíz, aceites de semillas (girasol, soya, coco, palma, cacahuate), grasas animales, aceites de desecho.	<i>Fermentación.</i>	Etanol, Metanol, N-butanol
			<i>Transesterificación.</i>	Biodiesel
			<i>Digestión anaerobia.</i>	Biogás
2a.	Residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa	Bagazo de caña de azúcar, rastrojo de maíz, aserrín, ramas y hojas secas de árboles.	<i>Sacarificación-fermentación.</i>	Etanol, metanol
			<i>Proceso Fischer-Tropsch (GTL-BTL)</i>	Gas de síntesis (monóxido de carbono e hidrógeno), biodiesel.
3a.	Vegetales no alimenticios de crecimiento rápido "cultivos energéticos"	Pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, algas verdes y verdeazules.	Fase experimental planta piloto.	Biodiesel, etanol.
4a.	Bacterias genéticamente modificadas	Anhídrido carbónico	Fase teórica	Etanol.

Tabla 3.1 Clasificación de los biocombustibles por generaciones [15]

Actualmente se producen los biocombustibles de primera generación ya que la tecnología que utilizan resulta de sencilla operación. Los de segunda generación se encuentran en etapas de estudio mientras los de tercera y cuarta se desarrollan de manera experimental e incluso teórica.

## 3.2 Biodiésel

### 3.2.1 Definición del biodiésel

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define al biodiésel como un éster monoalquílico de ácidos grasos de cadena larga derivados de una materia prima de lípidos renovables como los aceites vegetales o las grasas animales. El prefijo “Bio” representa su origen orgánico y renovable y “diesel” hace referencia a su uso en los motores diesel. Puede ser utilizado puro o en mezcla con petrodiesel [16].

Por ser de origen vegetal, el uso del biodiésel tiene varias ventajas: es biodegradable, seguro de manejar y almacenar, no tóxico, de aroma agradable, alarga la vida del motor, reduce la dependencia de los combustibles fósiles, reduce los contaminantes del aire, agua y suelo al obtenerse de aceites de desecho. Puede degradarse en un 85 % en 4 semanas aproximadamente [17]. El biodiésel contiene menos carbono, azufre y agua y más oxígeno que el diesel, por esta razón al quemarlo se tienen menores emisiones de monóxido y bióxido de carbono así como partículas suspendidas. Por su bajo contenido de azufre no se generan emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) el principal causante de enfermedades respiratorias y de la lluvia ácida [18].

El biodiésel tiene un punto de inflamación relativamente alto (150°C), lo que lo hace menos volátil y más fácil de transportar o manejar que el petrodiesel. Tiene propiedades lubricantes que reducen el desgaste del motor y extienden la vida de la máquina, aún cuando tiene problemas de viscosidad en los motores actuales [16].

Sus bajas emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas propician su uso en transportes marítimos, ciudades contaminadas, parques o reservas y ambientes en los que los problemas por derrames tengan grandes impactos ambientales ya que este producto tiende a degradarse más rápidamente [19]. Algunos estudios estiman que las emisiones de NO<sub>x</sub> pueden ser mayores con el uso de biodiésel, sin embargo un estudio reciente de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos establece que estas emisiones dependen de la calidad de los convertidores catalíticos en los vehículos [1].

El biodiésel, por su composición química es un solvente. El uso de diesel convencional genera que se deposite en el fondo de los tanques de combustible sedimentos que al combinarse con biodiésel (por su capacidad solvente) remueven dicho sedimento lo que provoca que se deban cambiar partes, como los filtros, con mayor frecuencia en un principio hasta que el uso frecuente de biodiésel haya disuelto por completo los sedimentos.

Sus desventajas se ven principalmente en el impacto que tiene en los motores ya que como muchas de sus partes se componen de caucho el biodiésel tiende a

descomponerlo por lo que es necesario cambiar estas piezas por otras que sean más resistentes sobre todo en motores de modelos anteriores.

Al exponerse a climas fríos se debe vigilar que los tanques de almacenamiento no disminuyan de manera drástica la temperatura ya que el biodiésel puede tornarse gelatinoso o congelarse muy fácilmente. Es recomendable usarlo en un tiempo no mayor a un año para que conserve sus propiedades.

### 3.2.2 Producción de biodiésel

Existen tres formas comunes para producir ésteres de ácidos grasos y aceites: i) transesterificación base, catalizando el aceite con alcohol, ii) ácido directo, esterificación catalizando el aceite con metanol y iii) conversión del aceite a ácidos grasos y después a ésteres alquílicos con catálisis ácida [19].

De estas formas se prefiere la primera, la transesterificación por ser económica además de que su operación es sencilla. Requiere presiones y temperaturas fáciles de alcanzar, tiene una alta eficiencia (98%), poco tiempo de reacción, conversión directa sin pasos intermedios, no se requieren instrumentos o equipo sofisticado. Además la transesterificación del aceite vegetal y de la grasa animal hace posible conseguir valores de viscosidad con el metil éster o etil éster dentro del margen que especifica el petrodiesel.

Los triglicéridos son los componentes principales de los aceites vegetales, químicamente están formados por cadenas largas de ácidos grasos. Durante la transesterificación las tres cadenas de ácidos grasos son liberadas desde el esqueleto del glicerol y se combinan con el alcohol para ceder ésteres de ácidos grasos (por ejemplo FAME “fatty acid methyl esters”) produciendo glicerina como subproducto. El alcohol más utilizado para este proceso es el metanol por ser de bajo costo.

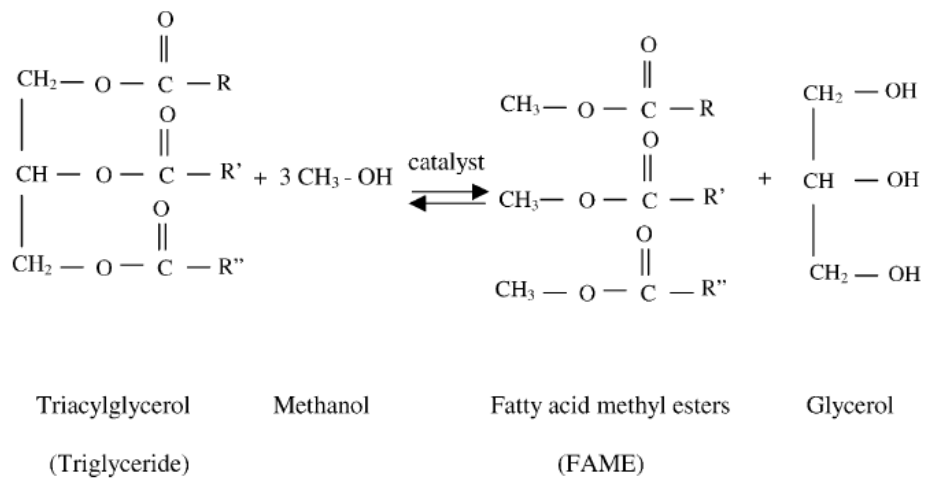


Figura 3.1 Representación esquemática del proceso de transesterificación. [16]

La reacción de transesterificación puede llevarse a cabo mediante la presencia de catalizadores ácidos, alcalinos o enzimáticos. Los dos primeros se prefieren por consumir menor tiempo de reacción.

En la transesterificación con catalizador alcalino se recomienda que el proceso se lleve a cabo a una temperatura de 60°C y una relación molar de 6:1, bajo estas condiciones se ha alcanzado una eficiencia del 90 al 98% de conversión en 90 minutos aproximadamente. Este sistema es muy sensible a la presencia de agua y ácidos grasos libres ya que la reacción puede convertirse en una saponificación bajo condiciones alcalinas. En el siguiente tema se profundizará en la descripción del proceso de transesterificación.

### 3.2.3 Propiedades del biodiésel producido a partir de aceite vegetal

Aquellos países que han optado por el uso del biodiésel han estipulado sus propias especificaciones. Estas propiedades desempeñan un papel vital en el control de calidad en la industria del petróleo. Estos parámetros pueden dividirse en dos grupos, uno que contiene casi todos los parámetros los cuales se usan también para el combustible mineral como son la densidad, viscosidad, punto de inflamación, número de cetano, etcétera y el otro grupo describe la composición química y pureza del biodiésel.

La Tabla 3.2 muestra una comparación de los parámetros generales que se buscan en el biocombustible como sustituto del diesel.

Parámetro	Parámetros de calidad del biodiesel							
	Australia Estándar de combustibles (biodiesel)	Austria (ON C1191)	República Checa (CSN 6507)	Francia (Diario oficial)	Alemania (DIN 51606)	Italia (UNI 10635)	Suiza (SS155435)	USA (ASTM D-6751)
Densidad a 15°C [g/cm <sup>3</sup> ]	0.86 - 0.89	0.85 - 0.89	0.87 - 0.89	0.87 - 0.89	0.86 - 0.86	0.86 - 0.90	0.87 - 0.90	-
Viscosidad a 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	1.9 - 6.0
Punto de inflamación [°C]	120	100	110	100	110	100	100	130
CFPP°C	-	0/ 5	5	-	0-10/-20	-	5	-
Punto de congelación [°C]	-	-	-	10	-	0/ 5	-	-
Número de cetano	51	≥49	≥48	≥49	≥49	-	≥48	≥47
Número de neutralización [mg KOH.	≤0.8	≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.6	≤0.8
Residuo de carbono Conradson [%]	0.05	0.05	0.05	-	0.05	-	-	0.05

Tabla 3.2 Parámetros que califican la calidad del biodiésel [20]

La Tabla 3.3 muestra parámetros resultantes del proceso de transesterificación



Parámetro	Parámetros de aceites vegetales para la calidad del biodiésel							
	Australia	Austria	República Checa	Francia	Alemania	Italia	Suiza	USA
	Estándar de combustibles (biodiésel)	(ON C1191)	(CSN 6507)	(Diario oficial)	(DIN 51606)	(UNI 10635)	(SS155435)	(ASTM D-6751)
Metanol/etanol (% de masa)	0.2	≤0.2	-	≤0.1	≤0.3	≤0.2	≤0.2	-
Contenido de ésteres (% de masa)	≥96.5	-	-	≥96.5	-	≥98	≥98	-
Monoglicéridos (% de masa)	-	-	-	≤0.8	≤0.8	≤0.8	≤0.8	-
Diglicéridos (% de masa)	-	-	-	≤0.2	≤0.4	≤0.2	≤0.1	-
Triglicéridos (% de masa)	-	-	-	≤0.2	≤0.4	≤0.1	≤0.1	-
Gliceroles libres (% de masa)	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.05	≤0.02	≤0.02
Gliceroles totales (% de masa)	≤0.25	≤0.24	≤0.24	≤0.25	≤0.25	-	-	≤0.24
Índice de yodo	-	≤120	-	≤115	≤115	-	≤125	-

Tabla 3.3 Parámetros de aceites vegetales para producir biodiésel de calidad [20]

La *densidad* es una propiedad importante en los sistemas de combustión sin aire porque influye en la eficiencia. Se sabe que la densidad del biodiésel depende principalmente del contenido de ésteres alcalinos y de la cantidad suministrada de alcohol, por lo que esta propiedad depende primordialmente de las condiciones del aceite vegetal.

Se ha visto que durante la cocción, la oxidación y polimerización de triglicéridos aumenta la viscosidad del aceite. La diferencia de la viscosidad se debe a la reacción incompleta del aceite o a la purificación del biodiésel.

Entre las características importantes del biodiésel está la *viscosidad* que controla la forma de inyección en las máquinas a diesel. Valores altos de viscosidad proporcionan una pobre atomización, combustión incompleta y quedan restos de carbono en el inyector, por lo tanto la viscosidad del biodiésel debe ser baja. El valor requerido según las tablas antes señaladas a 40°C no debe exceder los 6 mm<sup>2</sup>/s.

El *punto de inflamación* es un parámetro que debe considerarse en el manejo, almacenamiento y seguridad de los combustibles y materiales inflamables. Los valores altos disminuyen el riesgo de incendio para propósitos de transporte, en este aspecto el biodiésel presenta ventajas con respecto al diesel convencional. Muchos estándares especifican que el punto de inflamación debe estar por arriba de los 100°C. Una baja temperatura del combustible hace que se espese y eso afecta el desempeño de la máquina, específicamente los inyectores y bombas.

El *número de cetano* es un indicador de la calidad del combustible. Mide que tan fácilmente ocurre la ignición y cuanto humo arroja la combustión. Cuanto más alto sea el número de cetano indicarán mejores propiedades de la ignición. El número de cetano afecta el desempeño de la máquina en cuanto a combustión, estabilidad, ruido, facilidad de manejo, humo blanco, emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. El biodiésel tiene un número más alto de cetano que el diesel mineral, que resulta en una mayor eficiencia de la combustión. Esto se explica por la presencia natural de oxígeno en el biodiésel. Varios estándares nacionales especifican un número de cetano mayor a 47.

La *capacidad calorífica* es otra importante característica del biodiésel al usarse como sustituto del diesel. Se ha reportado que el biodiésel contiene aproximadamente 10% menos energía que el diesel. Esto indica que se requerirá aproximadamente 10% más volumen de biodiésel comparado con el diesel convencional para recorrer la misma distancia. Este valor más bajo se debe a la presencia de oxígeno en el biodiésel.

Los *residuos de carbono* indican la tendencia que un combustible tiene a depositarlo en la máquina que pueden causar varios problemas como corrosión y daño de los componentes. Se ha reportado que el contenido de residuos de carbono se incrementa exponencialmente cuando un porcentaje de biodiésel se ha combinado con diesel mineral. Esta es una desventaja del biodiésel al considerarse como sustituto del diesel mineral. El reporte mencionado concluye que es necesario realizar modificaciones en las máquinas si se pretende usar biodiésel 100% para evitar problemas operacionales como los mencionados anteriormente.

El *índice de acidez* mide el contenido de ácidos grasos en el combustible, esta propiedad permite especificar si el combustible tiene un buen uso o si se lleva a cabo un adecuado proceso. Varios estándares especifican que este parámetro debe estar entre 0.5 y 0.8 mg KOH/g. Esta propiedad tiene gran influencia en los depósitos que puedan formarse en los inyectores de las máquinas. Durante la cocción del aceite, este se somete continuamente a varias reacciones de degradación ya antes mencionadas como autooxidación, polimerización térmica, oxidación térmica, isomerización e hidrólisis. Estas reacciones aumentan el valor de los parámetros idóneos.

La presencia de alto contenido de alcohol en el biodiésel deteriora los sellos de goma y juntas en la máquina. Por lo tanto se requiere un control adecuado del contenido de alcohol.

La Tabla 3.4 muestra una comparación de algunos de los parámetros más importantes que se buscan en el biodiésel producido a partir de diferentes aceites y grasas obtenidos al usar diferentes tipos de alcoholes así como los parámetros que califican al diesel convencional.

Propiedades del biodiésel producido de diferentes grasas y aceites comparadas con el diesel de petróleo									
Parámetro	Biodiésel								
	Aceites usados con ésteres metílicos	Grasas usadas con ésteres metílicos	Desechos de aceite de palma	Grasas usadas con ésteres metílicos y etílicos	Aceite de palma sometido a altas temperaturas	Aceites usados con ésteres metílicos y etílicos	Aceite vegetal usado	Aceite vegetal usado con ésteres etílicos	Diesel de petróleo
Densidad a 15°C [kg/cm <sup>3</sup> ]	890	888	873.7	888.2/854.8	877.2	887/878	-	887.2	845
Viscosidad a 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	4.23	4.32	-	4.68/4.98	6.32	5.16/4.92	5.18	6.13	3.47
Poder calorífico [MJ/kg]	-	39.55	39.31	37.27/40.72	39.87	39.26/39.48	-	-	45
Número de cetano	54.5	52	-	-	62	-	48	47.9	50
Punto de inflamación [°C]	171	156	109	-	130	-	148	130	>52
Punto de congelación [°C]	-	2.5	0	3/6	10	-	4	10	<10
Punto de enturbamiento [°C]	-	3	0	1/-2	-	-	-	10.7	5
CFPP°C	1	-	-	6/4	-	-	-	-	-

Tabla 3.4 Propiedades del biodiésel obtenido a partir de diferentes materias primas y del diesel convencional [20]

### 3.2.4 Normas internacionales

Para garantizar que en el mercado exista un producto confiable se han diseñado normas oficiales que definen los parámetros que el biodiésel debe cumplir. Las normas oficiales que existen son la ASTM D6751 en Estados Unidos y la EN 14214 en la Unión Europea.

En Estados Unidos el biodiésel se registró en la EPA como un combustible y como un aditivo del combustible diesel en una de las secciones del Clean Air Act que es la legislación que define las responsabilidades de la EPA para protección y mejoramiento de la calidad del aire y la capa de ozono [18]. La ASTM D6751 fue emitida en 2001 con la finalidad de darle una definición al biodiésel como combustible o como aditivo en mezcla con diesel al 20%.

Esta norma contempla que biocombustible puede provenir diferentes materias primas y procesos de fabricación, por lo tanto, el mercado del biodiésel está basado no en la materia prima que se utilice sino en los parámetros que se cumplan.

La Tabla 3.5 enumera las especificaciones contempladas en la norma ASTM D6751 para el biodiésel puro.

Especificaciones del biodiésel puro en la norma ASTM D6751			
Propiedades	Método ASTM	Límite	Unidades
Punto de inflamación	D93	130 min.	°C
Agua y sedimentos	D2709	0.050 máx.	% de volumen
Viscosidad (40°C)	D445	1.9 - 6.0	mm <sup>2</sup> /s
Cenizas sulfatadas	D874	0.020 máx.	% de masa
Azufre	D5453	0.05 máx.	% de masa
Tira de cobre corrosión	D130	No. 3 máx	
Número de cetano	D613	47 min.	
Punto de enturbamiento	D2500	Report	°C
Residuos de carbono (100% de la muestra)	D4530	0.050 máx.	% de masa
Índice de acidez	D664	0.80 máx.	mg KOH/g
Glicerol libre	D6584	0.020 máx.	% de masa
Total de glicerol	D6584	0.240 máx.	% de masa
Contenido de fósforo	D4951	0.001 máx.	% de masa
Temperatura de destilación, temperatura atmosférica equivalente (90% recuperado)	D1160	360 máx.	°C

Tabla 3.5 Especificaciones del biodiésel puro en la norma ASTM D6751 [18]

En esta misma norma se hace una comparación de las propiedades del biodiésel y del diesel. La Tabla 3.6 muestra esta comparación.

Comparación de las propiedades del diesel y biodiésel en la ASTM D6751		
Propiedades del combustible	Diesel	Biodiésel
Estándar	ASTM D975	ASTM PS 121
Composicion del combustible	C10 - C21 HC	C12 - C22 FAME
Poder calorífico inferior, Btu/gal	131,295	117,093
Viscosidad a 40°C	1.3-4.1	1.9-6.0
Peso específico kg/l a 60°F	0.85	0.88
Densidad, lb/gal a 15°C	7.079	7.328
Agua, ppm por % de masa	161	0.05 % máx
Carbono, % de masa	87	77
Hidrógeno, % de masa	13	12
Oxígeno, % de masa	0	11
Azufre, % de masa	0.05 máx	0.0 - 0.0024
Punto de ebullición (°C)	188-343	182-338
Punto de inflamación (°C)	60-80	100-170
Punto de enturbamiento (°C)	-15 a 5	-3 a 12
Punto de congelación (°C)	-35 a -15	-15 a 10
Número de cetano	40-55	48-65
Relación estequiométrica Aire/Combustible	15	13.8
Desgaste BOCLE, gramos	3,600	>7000
HFRR, micrones	685	314

Tabla 3.6 Comparación de las propiedades del diesel y biodiésel enlistadas en la ASTM D6751 [18]

De estas propiedades puede hacerse algunas observaciones para su mejor desempeño en los motores, por ejemplo el poder calorífico del biodiésel es menor en un 10% con respecto al diesel, la viscosidad (Kin Viscosity) del biodiésel es mayor, lo que mejora la eficiencia en la inyección del combustible, el biodiésel tiene un valor más alto de explosividad (Falsch Point) por lo tanto es más seguro manejarlo a altas temperaturas que el diesel convencional, etcétera.

Entre los años 1992 y 1994, el Parlamento Europeo contribuyó a aumentar la capacidad de producción de biodiésel a más de 1,1 millones de toneladas por año y con esto se favoreció la producción agrícola de semillas oleaginosas. La reforma de la Política Agrícola Común en 1992 ayudó al biodiésel obtener un mayor potencial de ingreso al mercado en donde se añaden importantes subvenciones para la producción de cultivos no alimentarios. La cantidad de tierra utilizada para cultivar las semillas oleaginosas con fines industriales se estima que ha aumentado en un 50 por ciento (aproximadamente 0,9 millones de hectáreas) entre 1995 y 1996. Con eso se redujeron de impuestos para los combustibles no importados en 1994 [18].

La EN14214 se creó por un comité técnico para el estudio de combustibles (“Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin”), aprobada por el CEN (Comité Europeo de Normalización) en el 2008 [21].

En este documento se dan a conocer las características relevantes, requerimientos y pruebas para el biodiésel producido de aceites vegetales que sean necesarios para definir al producto y poder ser usado puro o en mezcla en motores a diesel.

Propiedad	Unidades	Límites		Método de prueba
		Mínimo	Máximo	
Contenido de ácidos grasos (FAME)	% de masa	96.5	-	EN 14103
Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3.5	5	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	101	-	EN ISO 2719 EN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Residuo de carbono	°C	-	0.30	EN ISO 10370
Número de cetano	-	51.0	-	EN ISO 5165
Contenido de ceniza sulfatada	% de masa	-	0.02	ISO 3987
Contenido de agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg	-	24	EN 12662
Prueba de tira de cobre a la corrosión (3h a 50°C)	clasificación	clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación, 110°C	horas	6.0	-	EN 15751 EN 14112
Índice de acidez	mg KOH/g	-	0.50	EN14104
Índice de yodo	g de yodo/ 100 g	-	120	EN 14111
Éster metílico del ácido linolénico	% de masa	-	12.0	Método en desarrollo por CEN
Éster metílico poliinsaturado (≥4 enlaces dobles)	% de masa	-	1	EN 14110
Contenido de metanol	% de masa	-	0.20	EN 14105
Monoglicéridos	% de masa	-	0.80	EN 14105
Diglicéridos	% de masa	-	0.2	EN 14105
Triglicéridos	% de masa	-	0.2	EN 14105
Gliceroles libres	% de masa	-	0.02	EN 14105 EN 14106
Gliceroles totales	% de masa	-	0.25	EN 14105
Metales Grupo I (Na+K)	mg/kg	-	5.0	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Metales Grupo II (Ca+Mg)	mg/kg	-	5.0	EN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg	-	4.0	EN 14107

Tabla 3.7 Propiedades requeridas en el biodiésel de acuerdo a la norma EN14214 [21]

### 3.2.5 Descripción general del proceso de transesterificación para el aceite comestible usado

El proceso de transesterificación también se conoce como alcoholisis en donde reacciona aceite vegetal o grasa con un alcohol para formar un éster y un glicerol. Usualmente se usa un catalizador para mejorar la velocidad y rendimiento de la reacción [20].

La transesterificación consta de tres reacciones reversibles: primero se lleva a cabo la conversión de triglicéridos a diglicéridos, después de diglicéridos a monoglicéridos y finalmente los monoglicéridos a glicerol; llevando un éster por cada glicérido en cada paso.

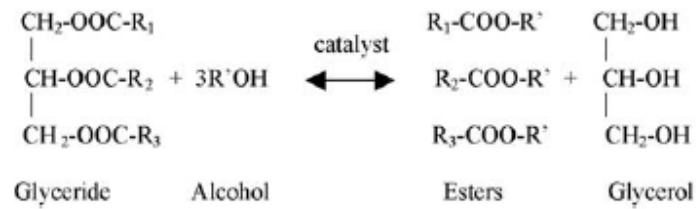


Figura 3.2 Transesterificación de triglicéridos con alcohol [20]

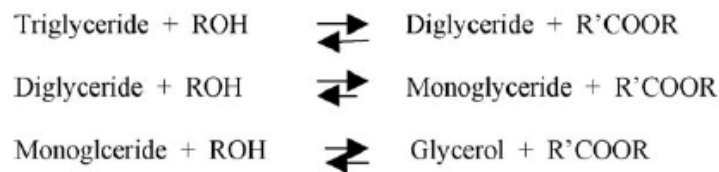


Figura 3.3 Ecuación general de la transesterificación de un triglicérido [20]

El aceite cocinado tiene diferentes propiedades que los aceites refinados y crudos. La presencia de calor y agua acelera la hidrólisis de triglicéridos e incrementa el contenido de ácidos grasos (FFA) en el aceite. Estos FFA tienen efectos negativos en la reacción de transesterificación, interfieren en la separación de los ácidos grasos y glicerol. Especialmente la viscosidad se incrementa en el aceite por la formación de ácidos diméricos y poliméricos y de glicerol. En el proceso de cocción, el aceite se somete a varias reacciones formándose varios componentes indeseables como polímeros, ácidos grasos y otros químicos, haciendo el proceso complejo. El pre tratamiento para evitar complejidades no es viable porque los costos se incrementan, lo que puede hacerse es filtrar el aceite para remover partículas que sobran.

Si los contenidos de ácidos grasos son >1% conviene utilizar un catalizador ácido, aunque este proceso requiere grandes concentraciones del catalizador. Los más utilizados son ácidos sulfúrico y sulfónico.

El uso de catalizadores alcalinos en la transesterificación de aceite cocinado se ve limitado por los ácidos grasos presentes que al reaccionar con estos catalizadores (NaOH, KOH y NaOCH<sub>3</sub>) forman jabón. La presencia de agua hace que la reacción se vuelva una saponificación, el catalizador alcalino se consume al producirse jabón y se reduce la eficiencia. El jabón hace que se incremente la viscosidad, se forman geles que reducen el rendimiento y provocan que la separación de la glicerina se dificulte.

Los métodos de producción del biodiésel a partir de aceite cocinado no difieren del proceso de transesterificación convencional usando catalizadores alcalinos, ácidos o enzimáticos. Cada catalizador tiene sus ventajas y desventajas dependiendo de los compuestos indeseables, especialmente FFA y agua.

Las ventajas de estos dos métodos se pueden combinar en una técnica de dos pasos sin embargo, se requieren métodos que incrementan el costo de producción. En la reacción convencional se pueden utilizar metanol o etanol como agentes esterificantes, el más usado es el metanol por ser más económico.

En el caso del uso de alcoholes supercríticos se han observado altos valores de reacciones comparados con la transesterificación convencional. Además los ácidos grasos son convertidos completamente en ésteres. Aunque las altas temperaturas y presiones que deben manejarse encarece el proceso.

La reacción de transesterificación involucra parámetros críticos que influyen en el rendimiento final, algunos de estos son: contenido de ácidos grasos y agua en el aceite, temperatura de reacción, relación molar alcohol-aceite, tipo de catalizador, tipo/estructura química del alcohol, cantidad/concentración del catalizador, tiempo de reacción, intensidad del mezclado, uso de co-solventes.

La Figura 3.4 muestra un diagrama general del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado.

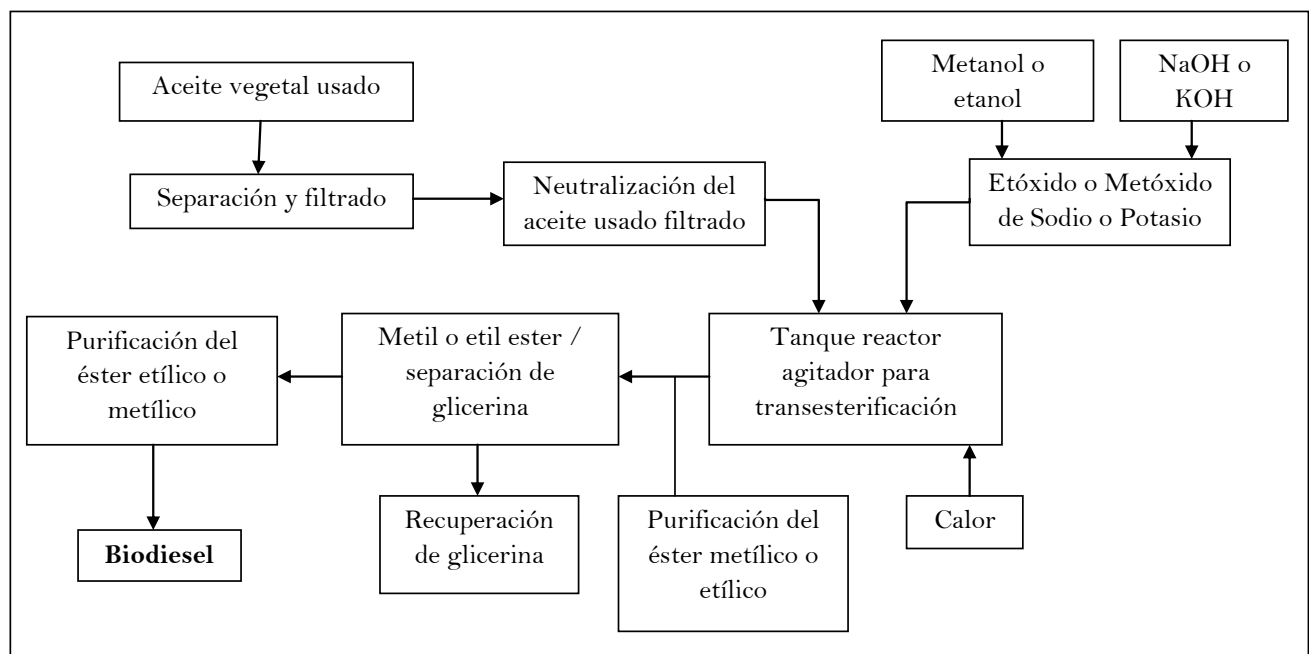


Figura 3.4 Diagrama esquemático del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite vegetal usado [20]

A continuación se describe el proceso final de la producción de biodiésel.



### *Separación*

Después de la reacción de conversión, el biodiésel obtenido es una mezcla de metanol, un catalizador y glicerol. Separar cada componente por acción de la gravedad resulta adecuado. Sin embargo algunas impurezas presentes pueden causar que se induzca una emulsión y con esto la separación de los productos se dificultará. Pueden utilizarse varios métodos para la separación del glicerol y el biodiésel: decantación, separación por sedimentación, radiación de microondas, centrifugación, etcétera.

### *Purificación*

En este proceso se remueven las impurezas que puedan quedar después de la separación del glicerol. Estas impurezas pueden ser alcohol, restos del catalizador, glicerol, jabón y otras.

### *Recuperación de alcohol*

Una buena reacción de conversión durante la transesterificación requiere una gran cantidad de alcohol, pero esta cantidad de alcohol debe minimizarse para la fase de separación. Uno de los métodos más populares para remover el alcohol es la evaporación, otro método utilizado es la destilación.

### *Lavado*

El lavado completa el proceso de transesterificación. Si hubo agua en el proceso, durante el lavado se notará la presencia de jabón o bien, el agua y el biodiésel permanecerán suspendidos en una emulsión.

### *Secado*

Cuando el biodiésel está limpio es traslúcido. Para el secado es necesario calentarlo y adicionar algunos químicos. El biodiésel se calienta a 55°C por un periodo de 15 a 20 minutos, todo resto de agua y alcohol se evapora.

### *Destilación*

Para obtener un biodiésel acorde a la normatividad se usa la destilación como un proceso de purificación (quitar impurezas y malos olores). Este procedimiento se usa en EU cuando el combustible es utilizado al 100% y no en mezcla con diesel.

### *Análisis de calidad*

Se han desarrollado varios métodos para analizar mezclas que contengan esteres y mono, di y triglicéridos obtenidos del a transesterificación de aceites vegetales y cocinados. El método más utilizado para en análisis de biodiésel es la cromatografía de gases.

### 3.3 Estudio de caso

#### 3.3.1 BioFuels de México

En la Ciudad de México sólo existe una empresa que obtiene biodiésel a partir de aceite comestible usado, sus instalaciones se encuentran en la Delegación Miguel Hidalgo.

Desde hace ya 7 años la empresa *Biofuels de México S.A. de C.V.* se ha dado a la tarea de recolectar aceite comestible usado de restaurantes, hogares y comercios en una campaña permanente para convertirlo en biodiésel a través de una reacción de transesterificación. Su proceso de producción se basa en la Metodología AM0047 “*Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel --- Version 2*” [22] elaborada por el IPCC como un Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El propósito de esta labor es difundir la cultura del reciclaje, el uso de energías renovables y la reducción de gases de efecto invernadero.

Su planta de transformación se encuentra ubicada en Centro de Desarrollo Ambiental de la Delegación Miguel Hidalgo, en la Ex-Refinería 18 de Marzo, Azcapotzalco.



Figura 3.5 Logotipo de la empresa BioFuels de México [23]

### 3.3.2 Descripción del proceso de producción de biodiésel

A continuación se describen los pasos que lleva a cabo la empresa BioFuels de México desde la recolección de aceite hasta la conversión a biodiésel y su distribución.

#### 1. Recolección de aceite.

Todos los días se hacen rutas de recolección de 60 a 120 km en camionetas de motores diesel. El aceite se recolecta en contenedores de 20, 50 y 200 litros. Debido a su procedencia, el aceite puede contener restos de comida, agua, sólidos y otras grasas.

No todo el aceite que llega puede transesterificarse porque no se cuenta con el equipo adecuado para su tratamiento. Para determinar cuál es el material que puede tratarse se llevan a cabo pruebas de acidez y humedad, los niveles aceptables están por debajo del 3% y del 1% respectivamente.

#### 2. Filtrado del aceite.

El aceite recolectado y seleccionado para su transformación se pasa a un contenedor (tote) en forma manual de 1000 litros que cuenta con una malla de mosquitero de 50 micrones que se reemplaza cada 3 meses. En la parte baja del tote hay una válvula que permite liberar el aceite cuando se requiere de la materia. Mediante una manguera conectada a una bomba (1hp) se traslada el aceite filtrado al cuarto de calentamiento.

#### 3. Calentamiento

El aceite filtrado se lleva a un tote de donde posteriormente se distribuirá a 3 contenedores de 200 litros mediante una bomba eléctrica (1 hp) para calentarlo. Los contenedores tardan entre 20 y 30 minutos en llenarse.

Se utiliza gas LP para calentar los contenedores de 200 litros y lograr elevar la temperatura del aceite hasta los 60°C. Esta operación tarda aproximadamente 1 ½ hrs.

Cuando el aceite ha alcanzado la temperatura deseada este se lleva hacia el reactor en donde se llevará a cabo la transesterificación con ayuda de la misma bomba (1 hp), el proceso traslado del aceite tarda aproximadamente 10 minutos.

#### 4. Transesterificación

##### a) Preparación del Metóxido

Se hace una mezcla de 16.6% de metanol con 1% de hidróxido de potasio (potasa) o sosa cáustica. Aunque el porcentaje depende de la cantidad de aceite a tratar por lo que esta proporción puede variar, para los cálculos se utiliza este porcentaje constante en este estudio. Para la producción diaria se requiere hacer un balance estequiométrico para encontrar la proporción adecuada de metóxido a preparar. En cada carga se tratan 600

litros de aceite por carga, que es la capacidad máxima del reactor. En promedio se hacen dos cargas al día.

$$\text{Metanol: } 600 * 0.166 \approx 100 \text{ [litros]}$$

$$\text{Hidróxido de potasio: } 600 * 0.001 = 6 \text{ [kg]}$$

Al realizar esta mezcla se genera calor, llega a tener una temperatura de hasta 40 °C, al combinarse con el aceite se tiene una temperatura de 65°C, la ideal para llevar a cabo la reacción de transesterificación.

Debe garantizarse que la mezcla del Metóxido sea homogénea para evitar obstrucciones en la tubería.

b) En el reactor.

Mediante una bomba manual se agrega el Metóxido al aceite que ya se encuentra dentro del reactor. Durante 60 min se mantiene activa una bomba (2 hp) que recircula la mezcla de aceite y metóxido. En 15 min se logra la obtención de biodiésel y glicerina.

Se produce el 99.98% de aceite tratado en biodiésel, prácticamente 100% y la misma cantidad de metóxido se obtiene en glicerina.

c) Obtención de los productos.

Una vez que la reacción de transesterificación está completa se traslada la mezcla al tanque tolva para lograr separar los productos con la misma bomba (2 hp), el tanque tolva se llena en 20 minutos. La mezcla se deja reposar 1 hora para decantar la glicerina.

5. Extracción de los productos.

a) Glicerina.

La finalidad de usar un talque tolva es facilitar la decantación de la glicerina, que por su densidad se deposita en el fondo del tanque. Por medio de una bomba (1 hp) se traslada la glicerina a un tanque tote en el que se almacena y puede analizarse o tratarse para obtener un producto comercial.

b) Biodiésel.

Una vez que se extrajo toda la glicerina es posible obtener el biodiésel con la misma bomba (1 hp).

6. Filtración del biodiésel crudo.

Al mismo tiempo que ocurre la extracción del biodiésel se realiza un último filtrado. La bomba de extracción hace pasar el biodiésel crudo por un primer filtrado (2 filtros de 10

micrones) después el producto pasa por una bomba menos potente ( $3/4$  hp) que hará pasar el biodiésel por un segundo filtrado (2 filtros de 5 micrones).

#### 7. Distribución

El biodiésel ya filtrado se almacena en tanques de 200 litros para su distribución, este puede almacenarse hasta 1 mes sin degradarse, después de ese tiempo es prudente utilizar ácido cítrico como conservador. Debido a que no se cuenta con estaciones o puntos de venta la empresa también realiza la función de distribuidor, uno de sus clientes potenciales es Grupo ADO.

En la Figura 3.6 se muestra un diagrama del proceso de producción en 7 pasos que resume la información proporcionada por BioFuels de México.

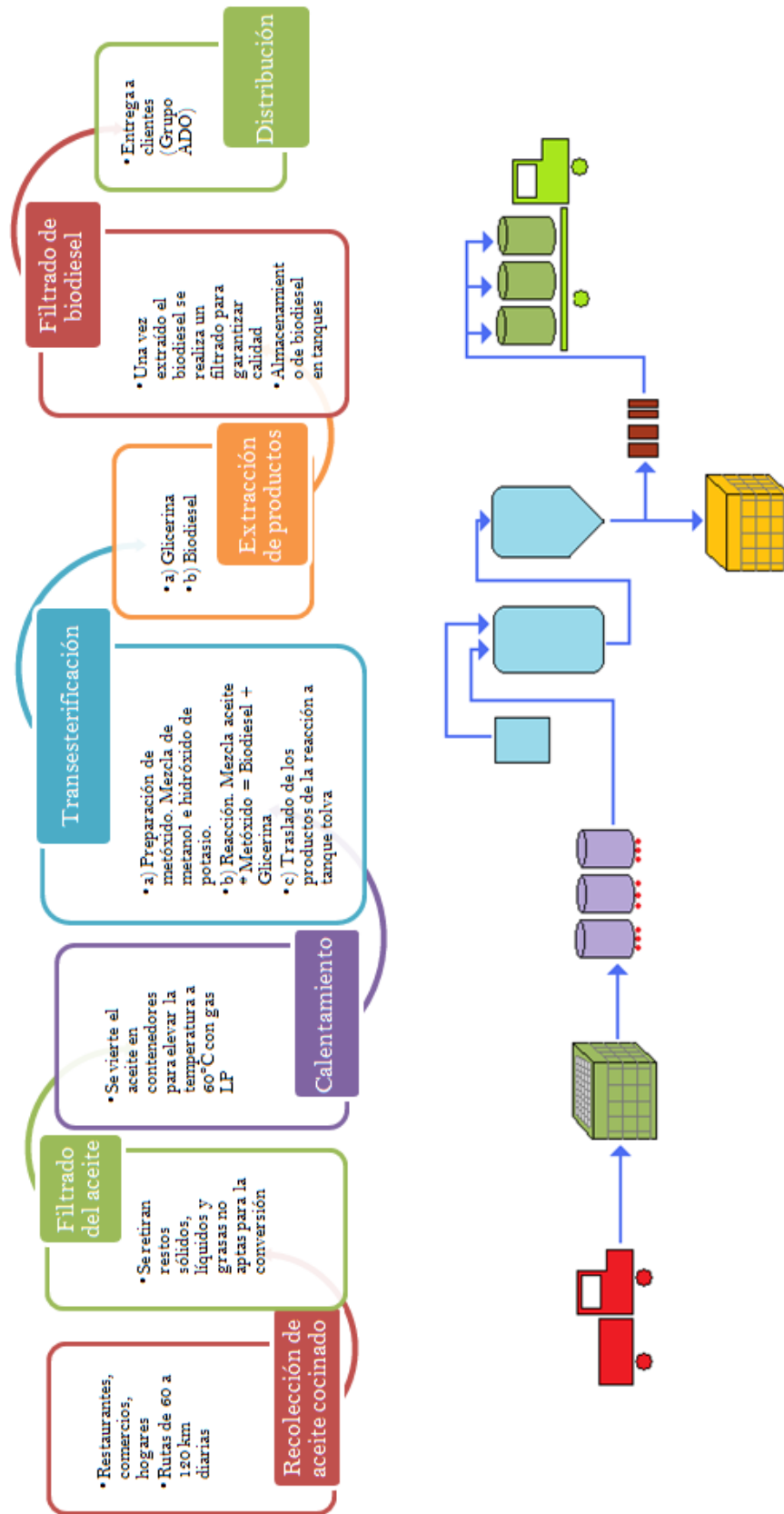


Figura 3.6 Proceso de producción de biodiesel que lleva a cabo BioFuels de México. Elaboración propia con datos de BioFuels de México.

### 3.3.3 Costos asociados al proceso de producción

#### 3.3.3.1 Descripción de los costos

##### 1. Inversión

Como toda planta industrial, se requiere llevar a cabo la instalación de una infraestructura y compra de equipo especiales. Para esta planta se requirió la compra de 3 vehículos para la recolección de aceite, instalación de varias bombas eléctricas, un reactor, un tanque tolva, tubería y mangueras para el manejo y traslado del aceite. Además se requirió de un pequeño laboratorio y con este, la compra de instrumentos de medición, equipo de protección para los operadores, por mencionar lo más importante. El diseño de la instalación se adecuó a la capacidad de conversión de aceite diaria que para la planta varía de 600 litros a 1200 litros, aunque puede ampliarse con pocos requerimientos económicos y técnicos en algún momento dado.

Se estima que la inversión inicial para la puesta de la planta es de \$ 1, 391, 811.14 [23]

##### 2. Operación

Comprende todos aquellos insumos que se utilizan día a día para la producción de biodiésel en todas las etapas, desde la recolección de aceite hasta la distribución de biodiésel:

- i) Combustible para vehículos
- ii) Energía eléctrica para bombeo e iluminación
- iii) Gas LP
- iv) Metanol e hidróxido de potasio

Se estima una ruta de recolección y distribución de 100 km diarios y una carga promedio de 1,200 litros de aceite diarios por lo que el costo de operación anual es de \$ 726, 336.90.

La Tabla 3.8 enlista los pasos que se llevan a cabo para la producción de biodiésel, así como las etapas intermedias en la operación.

Etapas de la producción de biodiesel	
I	Recolección y distribución
II	Selección de aceite y filtrado
III	Calentamiento
IV	Transesterificación
IV.a	Preparación del metóxido
IV.b	Reacción de transesterificación
IV.c	Traslado de los productos al tanque tolva
V	Extracción de los productos de transesterificación
V.a	Extracción de glicerina
V.b	Extracción de biodiesel
VI	Filtración de biodiesel crudo

Tabla 3.8 Etapas de la operación de BioFuels de México.

En las Tabla 3.9a y 3.9b se detalla la estimación de los costos de operación. En la primera columna se indica el insumo del que se trata, en la segunda se indica en qué etapa de la operación se presenta su uso, en las siguientes se realizan los cálculos en donde intervienen diferentes variables dependiendo del insumo del que se trate y finalmente se reporta el costo mensual y anual que representa cada insumo.

A continuación se enlistan algunas consideraciones importantes para la realización del cálculo de los costos de operación.

- i. *Combustible para vehículos.* Se considera que el rendimiento de los vehículos es de 5 [km/litro] aunque al cabo de algunos años de operación este puede disminuir. El costo comercial del diesel es de \$10.45 en la fecha calculada sin embargo este precio tiende a incrementarse mes con mes [24].
- ii. *Energía eléctrica.* El uso de este insumo es exclusivamente para iluminación y bombeo por lo que CFE aplica la tarifa 2 (para baja tensión) [25]. Se considera que las luminarias están en uso 10 horas al día debido a que la planta opera de 8 am a 6 pm.
- iii. *Gas LP.* El costo por tanque de gas a la fecha calculada es de \$225, este también tenderá a incrementarse.
- iv. *Metanol e Hidróxido de Potasio.* BioFuels adquiere el metanol a un costo de \$3,500 por 400 litros y \$1,500 por 45 kg de hidróxido de potasio. Cabe señalar que el uso de estos químicos es de gran peligrosidad por lo que su venta es muy controlada y se requieren permisos especiales que deben verificarse para su uso.



		Costos de operación. BioFuels de México									
Insumo	Etapa	Variables de la operación						Costo total			
i	Combustible para vehículos	Distancia recorrida por vehículo al día [km]	Rendimiento del vehículo [km/lt]	Combustible por vehículo [litros/día]	Combustible por total de vehículos		Costo por litro de combustible [\$/litro]	Total mensual [\$]	Total anual [\$]		
					[litros/día]	[litros/año]					
Número de vehículos	3.00	I	100.00	5.00	20.00	60.00	1,200.00	14,400.00	10.45	12,540.00	150,480.00
ii	Energía eléctrica para bombeo e iluminación	Potencia de la bomba		Horas de operación			Energía eléctrica al bimestre para bombeo [kW/h]				
		[hp]	[kW]	[horas/carga]	[horas/día]	[horas/mes]		[horas/bimestre]			
Constantes para conversión de unidades	II	1.00	0.75	0.50	1.00	20.00	40.00	30.00			
	III	1.00	0.75	0.50	1.00	20.00	40.00	30.00			
1 [hp]	III	1.00	0.75	0.50	1.00	20.00	40.00	30.00			
0.75 [kW]	IV.b	2.00	1.50	1.00	2.00	40.00	80.00	120.00			
	IV.c	2.00	1.50	0.33	0.67	13.33	26.67	40.00			
	V.a	1.00	0.75	0.08	0.17	3.33	6.67	5.00			
	V.b	1.00	0.75	0.50	1.00	20.00	40.00	30.00			
	VI	0.75	0.56	0.50	1.00	20.00	40.00	22.50			
		Número de luminarias	Potencia por luminaria [kW]	Potencia por luminarias totales [kW]	Horas de operación			Energía eléctrica al bimestre para [kW/h]			
					[horas/día]	[horas/mes]	[horas/bimestre]				
	TODAS	67	0.04	2.68	10	200	400	1072			
		Consumo total bimestral de energía eléctrica bimestral (Bombeo + iluminación)					[kW/h]	1,379.50			
		Consumo total anual de energía eléctrica					[kW/h]	8,277.00			
		Tarifa 2 (CFE) [\$]	Cargo fijo	Primeros 50 kW	Siguientes 50 kW	Últimos kW		Costo total bimestral [\$]			
			52.19	2.16	2.62	2.88					
		[kW]		50.00	50.00	1,279.50					
		[\$]	52.19	108.00	131.00	3,684.96		3,976.15	1,988.08	23,856.90	

Tabla 3.9a Costos de operación (Combustible para vehículos y Energía eléctrica para bombeo e iluminación). Elaboración propia con datos de BioFuels de México.

Costos de operación. BioFuels de México									
Insumo	Etapa	Variables de la operación						Costo total	
iii	Gas LP	Gas LP				Tanques de 20 kg de Gas LP		Total mensual	Total anual
		[kg/carga de biodiesel]	[kg/día]	[kg/mes]	[kg/año]	(1 mes)	(1 año)	[\$]	[\$]
Constantes para conversión	III	6.67	13.33	266.67	3,200.00	13.33	160.00	3,000.00	36,000.00
1 tanque									
20 [kg]									
225 [\$]									
Metanol									
iv	Metanol e hidróxido de potasio	Metanol						Total mensual	Total anual
		[litros/carga de biodiesel]	[litros/día]	[litros/mes]	[litros/año]			[\$]	[\$]
Constantes para conversión de unidades	IV.a	100.00	200.00	4,000.00	48,000.00			35,000.00	420,000.00
Metanol									
400.00 [litros]									
3,500.00 [\$]									
8.75 [\$/litro]									
NaOH									
	iv.a	NaOH						Total mensual	Total anual
		[kg/carga de biodiesel]	[kg/día]	[kg/mes]	[kg/año]			[\$]	[\$]
Hidróxido de potasio	IV.a	6.00	12.00	240.00	2,880.00			8,000.00	96,000.00
45 [kg]									
1500 [\$]									
33.3333 [\$/kg]									
<b>Total Operación</b>								<b>726,336.90</b>	

Tabla 3.9b Costos de operación (Gas LP y Metanol e hidróxido de potasio). Elaboración propia con datos de BioFuels de México.

### 3. Mantenimiento

Los vehículos así como instrumentos y equipo utilizados en la fabricación de biodiésel requieren ser reemplazados o someterlos a algún mantenimiento como es el caso de los filtros, el equipo de seguridad, instrumentos de limpieza, etc. Estos costos ascienden a un total de \$ 49, 200.26 anuales [23].

### 4. Mano de obra

La planta cuenta con personal administrativo, operadores, choferes y cargadores. El costo anual de este rubro asciende a \$ 972, 000 anuales.

### 5. Renta del local

Se requiere pagar una renta mensual por el espacio ocupado que asciende a \$300,000 anuales.

### 6. Compra de aceite comestible usado

Dado que no existe alguna regulación al respecto, la recolección de aceite tiene un costo asociado que es la compra de cada litro de aceite y este varía dependiendo del lugar y el tipo de comercio del que provenga el aceite. El costo por litro de aceite usado va de los \$0 a \$6. Así, si en promedio el costo del litro es de \$2 y se requieren 1,200 litros diarios, considerando que la planta opera 240 días al año el costo por compra de aceite es de \$576,000 anuales.

### 3.3.3.2 Costo por litro de biodiésel producido

Para estimar el costo de producción de un litro de biodiésel es necesario considerar que los rubros (3, 4 y 5) mantenimiento, mano de obra y renta del local son costos fijos y los demás (2 y 6, operación y compra de aceite comestible usado respectivamente), a excepción de la inversión inicial, son costos variables. Además la vida útil de la planta de producción es de 10 años. Se anualizó la inversión a este periodo de tiempo y además es de particular importancia señalar que el costo por compra de aceite usado es variable por lo que se realizó el cálculo para un costo por litro de aceite usado de \$0, \$2, \$4 y \$6.

Se buscó hacer una comparación del precio del biodiésel frente al diesel considerando diferentes tasas de descuento: 12% para inversiones públicas y 20% y 30% para inversiones privadas. Se consideró además una utilidad del 10% y 20%. Lo anterior con la finalidad de comparar entre hacer una inversión privada o pública. Para calcular el precio comercial al que se ofrecerá se agregó el 16% por concepto de IVA.

En la Tabla 3.10 se muestran los costos totales (fijos y variables) que intervienen en la producción de biodiésel así como la inversión inicial (valor presente) de manera resumida.

En la Tabla 3.11 se muestran las operaciones realizadas para el cálculo del costo por litro de biodiésel producido usando los datos de la Tabla 3.10 así como el precio comercial al que se ofrecerá considerando varios escenarios: que el costo por compra de aceite comestible usado sea de \$0, \$2, \$4 o \$6 (indicados con los numerales i, ii, iii y iv respectivamente en las Tablas 3.10 y 3.11), tasas de descuento de 12%, 20% y 30% y utilidades del 10% y 20%.

Determinación de los costos totales anuales (costos fijos y variables)						
Costos de producción de biodiesel. BioFuels de México						
Inversión inicial		[ $\$$ ]	1,391,811.14			
Costos fijos	Mantenimiento	[ $\$$ ]	49,200.26			
	Mano de obra	[ $\$$ ]	972,000.00			
	Renta del local	[ $\$$ ]	300,000.00			
Costos variables	Combustible para recolección	[ $\$$ ]	150,480.00			
	Energía Eléctrica	[ $\$$ ]	23,856.90			
	Gas LP	[ $\$$ ]	36,000.00			
	Metanol	[ $\$$ ]	420,000.00			
	Hidróxido de potasio	[ $\$$ ]	96,000.00			
			<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>
Compra de aceite comestible usado	Costo por litro	[ $\$$ ]	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
	Costo para la producción anual	[ $\$$ ]	0.00	576,000.00	1,152,000.00	1,728,000.00
Costos totales (Costos fijos + costos variables) <i>Coa</i>		[ $\$$ ]	<b>2,047,537.16</b>	<b>2,623,537.16</b>	<b>3,199,537.16</b>	<b>3,775,537.16</b>
Producción anual de Biofuels		[Litros]	288,000.00			
Vida útil de la planta <i>n</i>		[años]	10			

Tabla 3.10 Costos totales anuales de la producción de biodiésel. Elaboración propia con datos de BioFuels de México

Cálculo del costo por litro de biodiésel producido, determinación del precio comercial por litro. BioFuels de México

Concepto a calcular		Variables					[\$]	
		Tasa de descuento (d)	i	ii	iii	iv		
Inversión anualizada	$A = (I * (d / (1 - ((1 + d)^{-n})))) + CO_a$	12%	2,293,865.69	2,869,865.69	3,445,865.69	4,021,865.69		
		20%	2,379,515.79	2,955,515.79	3,531,515.79	4,107,515.79		
		30%	2,497,737.18	3,073,737.18	3,649,737.18	4,225,737.18		
Costo por litro de biodiésel producido	CP = Inversión anualizada/Producción anual de BioFuels	12%	<b>7.96</b>	<b>9.96</b>	<b>11.96</b>	<b>13.96</b>		
		20%	<b>8.26</b>	<b>10.26</b>	<b>12.26</b>	<b>14.26</b>		
		30%	<b>8.67</b>	<b>10.67</b>	<b>12.67</b>	<b>14.67</b>		
Precio de venta	PV = Costo por litro de biodiésel producido/(1-Utilidad Total)	Utilidad						
		10%	8.85	11.07	13.29	15.52		
		10%	9.18	11.40	13.62	15.85		
		10%	9.64	11.86	14.08	16.30		
		10%	9.96	12.46	14.96	17.46		
		20%	10.33	12.83	15.33	17.83		
Precio de venta + IVA	16%			10%	10.84	13.34	15.84	18.34
				12%	<b>10.27</b>	<b>12.84</b>	<b>15.42</b>	<b>18.00</b>
				20%	<b>10.65</b>	<b>13.23</b>	<b>15.80</b>	<b>18.38</b>
				30%	<b>11.18</b>	<b>13.76</b>	<b>16.33</b>	<b>18.91</b>
				12%	<b>11.55</b>	<b>14.45</b>	<b>17.35</b>	<b>20.25</b>
				20%	<b>11.98</b>	<b>14.88</b>	<b>17.78</b>	<b>20.68</b>
		30%	<b>12.58</b>	<b>15.48</b>	<b>18.38</b>	<b>21.28</b>		
*Datos tomados de la Tabla 3.10		n	Vida útil de la planta					
		CO <sub>a</sub>	Costos totales					

Tabla 3.11 Cálculo del costo de producción de biodiésel. BioFuels de México. Elaboración propia con datos de BioFuels de México

El precio por litro de biodiésel dependerá en gran medida del costo al que se compre el aceite usado, el mejor de los casos será adquirirlo al más bajo costo para ofrecer un precio competitivo. Si se adquiere a un alto costo, el precio comercial del biodiésel resultará bastante costoso.

Dado que el precio comercial del diesel es de \$10.45 a la fecha calculada los únicos casos en el que el precio del biodiésel es competitivo son en el que el aceite usado se adquiera sin costo, se busquen tasas de descuento inferiores o iguales al 20% y utilidades no mayores al 10%.

### 3.3.4 Balance de energía

Al reemplazar una tecnología por otra se busca que se obtengan beneficios económicos, de eficiencia, entre otros. Para este trabajo se analizó que cantidad de energía se requiere para producir 1 litro de biodiésel y comparar si esta energía en el proceso de producción resulta mayor o menor comparada con la energía que proporcionará el uso del mismo litro de biodiésel. A este proceso de comparación se le llama *balance de energía* y el resultado puede ser negativo o positivo, lo que implicará que se requiere más o menos energía para producir 1 litro de biodiésel que la que se entregará al usarse.

Como ya se detalló en este Capítulo, con la tecnología utilizada por BioFuels de México, para producir biodiésel se requieren 4 insumos energéticos: combustible para vehículos (diesel), energía eléctrica, gas LP y metanol. Conocidas las cantidades que se usan para la producción anual y dada sus características físicas (densidad y poder calorífico) puede contabilizarse la cantidad de energía requerida para producir cada litro de biodiésel. Para determinar este dato, a continuación se muestra la hoja de cálculo utilizada.

Balance de energía producción-uso del biodiesel					
Insumos	Consumo anual BioFuels			Factores de conversión	
	<i>Volumen</i>		<i>Energía</i>	<i>Densidad</i>	<i>Poder calorífico</i>
	[Litros]	[kg]	[MJ]	[kg/litro]	[MJ/kg]
Combustible para vehículos (diesel)	14,400.00	12,240.00	514,447.20	0.85	42.03
Energía eléctrica	[kWh]		[MJ]		[MJ/kWh]
	8,277.00		29,797.20		3.60
Gas LP	[Tanques de 20kg]	[kg]	[MJ]		[MJ/kg]
	160.00	3,200.00	147.20		0.05
Metanol	[Litros]	[kg]	[MJ]	[kg/litro]	[MJ/kg]
	48,000.00	38,006.40	798134.4	0.79	21.00
Total de energía para la producción anual			[MJ]		
			1,342,526.00		
Producción anual de biodiesel			[Litros]		
			288,000.00		
<b>Energía usada para producir 1 litro de biodiesel</b>			[MJ/litro]		
			<b>4.66</b>		
<b>Energía que aportará 1 litro de biodiesel</b>			[MJ/litro]	[kg/litro]	[MJ/kg]
			<b>34.82</b>	0.89	39.26

Tabla 3.12 Balance de energía

Producir 1 litro de biodiésel requiere 4.66 [MJ] de energía que al quemarse producirá 34,82 [MJ], es decir que se producirá 7 veces más energía al usar biodiésel de la que se consume por lo que este balance de energía es positivo.

### 3.3.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> durante el proceso de producción

Es importante mencionar que a pesar de ser un producto orgánico, el biodiésel genera emisiones de CO<sub>2</sub> en su proceso de producción debido a que en la cadena se utilizan insumos que generan emisiones al usarse o bien las generaron al producirse como en el caso del metanol.

La empresa BioFuels de México, como ya se mencionó, basa su proceso de producción en la metodología AM0047 del UNFCCC “*Production of biodiesel base on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel*” que fue aprobada para proyectos de producción de biodiésel a partir de aceites usados. [22] Esta metodología considera emisiones de producción a las siguientes:

- CO<sub>2</sub> emitido por combustibles fósiles consumidos en la planta.
- CO<sub>2</sub> emitido por consumo de energía eléctrica.
- CO<sub>2</sub> por transporte del aceite usado y del biodiésel al consumidor.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la producción del metanol se consideran como emisiones de fuga, para este proyecto se reportarán de manera separada, es importante tenerlas en cuenta porque aunque no se emiten en la planta de biodiésel se emitieron durante la fabricación de dicho insumo. El cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> se basa en la metodología del IPCC y factores de emisión [26].

Para el estudio de caso:

- El combustible fósil utilizado en la planta es el gas LP que se utiliza en el paso 3 del proceso de producción (Calentamiento) que consiste en elevar la temperatura del aceite ya filtrado a 60° para que la reacción química pueda llevarse a cabo de manera exitosa. En la planta se utilizan anualmente 147,200 [kJ] de este energético. El gas LP tiene un factor de emisión de 63,100 [kg de CO<sub>2</sub>/TJ].
- El cálculo de emisiones por energía eléctrica requiere un cálculo adicional: el factor de emisión eléctrico. Este varía año con año y depende de los energéticos fósiles (que contienen carbono) utilizados en la generación, la generación bruta (todas las fuentes, incluyendo las renovables) y las pérdidas por transmisión (12%). Para 2010, de acuerdo al BNE se tuvo una generación bruta de 873.14 [PJ] cuyas fuentes fósiles fueron carbón, diesel, combustóleo y gas natural. Los factores de emisión son los reportados por el IPCC para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. En la Tabla 3.5 se muestra el cálculo para este factor de emisión para 2010 que se lleva a cabo utilizando la siguiente expresión:

$$F_{e_{\text{eléctrico}}} \left[ \frac{\text{kg CO}_2}{\text{TJ}} \right] = \frac{\text{Emisiones de fuentes fósiles [kg CO}_2]}{(\text{Generación bruta} - \text{Pérdidas por transmisión})[\text{TJ}]}$$



Cálculo del factor de emisión eléctrico para 2010					
Fuentes fósiles para la generación	Consumo de combustibles para generación eléctrica		Factor de emisión [kg CO <sub>2</sub> /TJ]	Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	Factor de emisión eléctrico 2010 [kg CO <sub>2</sub> /TJ]
	[PJ]	[TJ]			
Carbón	322.75	322,750.00	98,300.00	31,726,325,000.00	
Diesel	14.73	14,730.00	74,100.00	1,091,493,000.00	
Combustóleo	377.14	377,140.00	77,400.00	29,190,636,000.00	
Gas seco	985.06	985,060.00	56,100.00	55,261,866,000.00	
Generación bruta 2010	873.14	873,136.45			
Pérdidas por transmisión		12%			
		<i>Emisiones totales</i>		117,270,320,000.00	<b>152,624.17</b>

Tabla 3.13 Cálculo del Factor de emisión eléctrico para México 2010

Equivalencias del factor de emisión eléctrico calculado				
Factor de conversión		Factor de emisión de electricidad 2010		
[MWh]	[TJ]	[kg CO <sub>2</sub> /TJ]	[kg CO <sub>2</sub> /MWh]	[ton CO <sub>2</sub> /MWh]
1	0.0036	152,624.17	549.45	0.549447018

Tabla 3.14 Equivalencias del Factor de emisión eléctrico para México 2010

- En el rubro transporte se estima un consumo anual de 0.51 [TJ] de diesel para llevar a cabo las rutas de recolección de aceite y la entrega de biodiésel al cliente. El diesel tiene un factor de emisión de 74,100 [kg de CO<sub>2</sub>/TJ].

La Tabla 3.15 muestra la hoja de cálculo utilizada para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> por producción de un litro de biodiésel, las emisiones generadas en un año en la planta BioFuels y las emisiones de fuga.

Emisiones de producción de biodiesel anuales. BioFuels de México								
Insumo	Consumo anual	Factores de conversión		Factor de emisión			Emisiones de CO <sub>2</sub>	
		Densidad	Poder calorífico					
		[kg/litro]	[MJ/kg]					
Combustible para vehículos (diesel)	[Litros]	0.85	42.03	[TJ]	[kg CO <sub>2</sub> /TJ]	[ton CO <sub>2</sub> /MWh]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[ton CO <sub>2</sub> ]
	14,400.00	[kg]	514,447.20	0.51	74,100.00	74.10	38,120.54	38.12
Energía eléctrica	[kWh]	[MWh]			549.45	0.55	4,547.77	4.55
	8,277.00		[kJ/kg]					
			46.00					
	[Tanques de 20kg]	[kg]	[kJ]	[TJ]				
Gas LP	160.00	3,200.00	147,200.00	0.00015	63,100.00	63.10	9.29	0.01
<b>Emisiones totales generadas en un año</b>							<b>42,677.60</b>	<b>42.68</b>
<b>Producción anual de biodiesel</b>	[Litros]						[kg CO <sub>2</sub> /Litro]	[ton CO <sub>2</sub> /Litro]
	288,000.00						<b>0.14819</b>	<b>0.00015</b>
<b>Emisiones de fuga</b>	[Litros]	[kg/litro]	[kg]	[ton]	[kg CO <sub>2</sub> /ton de Metanol Producido]	[ton CO <sub>2</sub> /ton de Metanol Producido]	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> por producción de metanol para fabricación de biodiesel</b>	
Metanol	48,000.00	0.79	38,006.40	38.01	1,950.00	1.95	74,112.48	74.11

Tabla 3.15 Emisiones de producción BioFuels de México.

Por cada litro de biodiésel producido se generan casi 150 gr de CO<sub>2</sub>. Debe considerarse además la generación de emisiones por producción de metanol para biodiésel que para la producción de un año son 74 toneladas.

## 4. Potencial de aceite comestible usado para biodiésel en México y en el Distrito Federal

En la cultura alimenticia mexicana el aceite vegetal sirve para la cocción de alimentos de importante tradición y uso cotidiano. En este Capítulo se calculó un índice de consumo de 1.46 [litros/habitante] mensual.

El aceite sólo es un medio para obtener un alimento cocinado, por lo tanto una parte del aceite que se compra se desechará, ésta acción debe ser una práctica responsable ya que al ser un líquido puede esparcirse fácilmente por el agua, suelo y otros sólidos con los que se encuentre en contacto, por lo que llevar a cabo programas de recolección traerán consigo beneficios ambientales y económicos importantes.

A partir de las cifras de consumo de aceite en el país se calculó el potencial de producción de biodiésel si se logra recolectar el aceite comestible usado. Tomando como modelo la planta de BioFuels de México es posible calcular cuántas plantas y empleos se pueden generar en el país, en particular en el DF, así como la inversión requerida.

*4.1 Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección*

*4.2 Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF*

*4.3 Emisiones totales por la producción de biodiésel*

*4.4 Inversión necesaria*

#### 4.1 Aceite vegetal: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección

##### 4.1.1 Procedencia

En México existe gran variedad de plantas oleaginosas debido a que en el país existen las condiciones agrícolas adecuadas para su producción y que se comercializan debido a su importancia alimenticia por el alto contenido de ácidos grasos y proteínas. Además se presentan las condiciones deseables para la conservación e hibridación de nuevas especies.

En el mundo los cultivos más importantes son los de soya, canola, cártamo, algodón, girasol, olivo, maíz, lino, cacahuate y ajonjolí para la obtención de aceites y otros productos útiles en diversos sectores además del alimenticio.

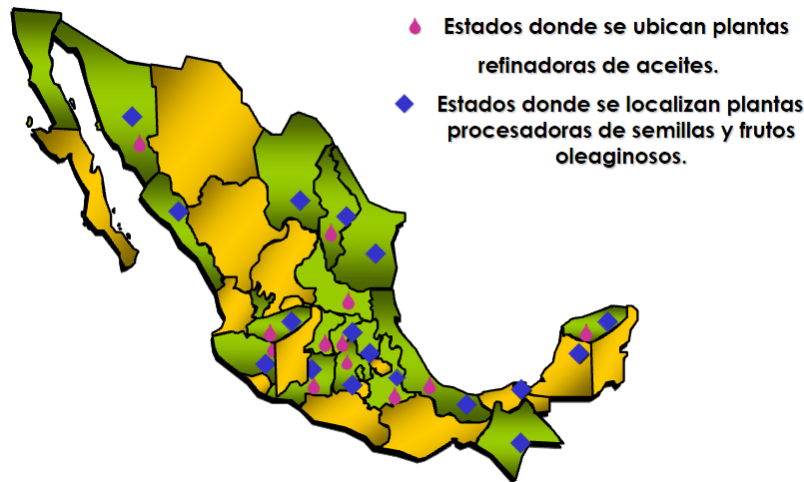
Las semillas oleaginosas pueden utilizarse de diversas maneras; por ejemplo las semillas de girasol, los cacahuates y almendras se comen completamente; del cártamo se extraen tintes naturales y los aceites, preferentemente no comestibles, se usan para la fabricación de biocombustibles [27].



Figura 4.1. Plantas oleaginosas. Fuente: Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas.

### Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección

Los aceites vegetales se obtienen del procesamiento de semillas oleaginosas procedentes de molinos o plantas refinadoras. En la Figura 4.2 se muestra la distribución de las plantas refinadoras y plantas procesadoras de semillas oleaginosas.



*Figura 4.2 Plantas refinadoras de aceites vegetales y plantas procesadoras de semillas oleaginosas. Fuente ANIAME*

ANIMAE (Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C.) estima que en el país existe una capacidad instalada en molienda de 8.94 millones de toneladas métricas y en refinación de 3.2 millones de toneladas métricas aunque en operación hay 7.48 millones de toneladas métricas y 3.12 millones de toneladas métricas respectivamente [27].

Aunque México cuenta con cultivos de oleaginosas, la industria aceitera depende en gran medida de las importaciones para elaborar productos y cubrir la demanda. La producción de oleaginosas cayó considerablemente en el periodo de 1990 a 2006; en 2006 por ejemplo, el consumo nacional de semillas oleaginosas fue de 5.5 millones de toneladas, de las cuales se produjeron sólo 0.5 millones en el país y el costo de las importaciones fue de más de 14,000 millones de pesos [28] por lo que es de suma importancia impulsar el desarrollo de nuevos cultivos para así reducir la dependencia del exterior.

En 2009 la SAGARPA anunció el inicio del Proyecto Estratégico Pro Oleaginosas para impulsar el ingreso de los productores mediante la introducción de nuevas áreas de cultivos principalmente de cártamo, canola, girasol y soya [28].

En un estudio realizado por la misma asociación (ANIAME) se muestra que a partir del año 2007 con la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos [29] se crea un vínculo entre los precios de los aceites vegetales y el petróleo. Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran la tendencia en los precios de los aceites vegetales y el petróleo en los periodos de 2003 a 2007 y de 2007 a 2010.

Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección

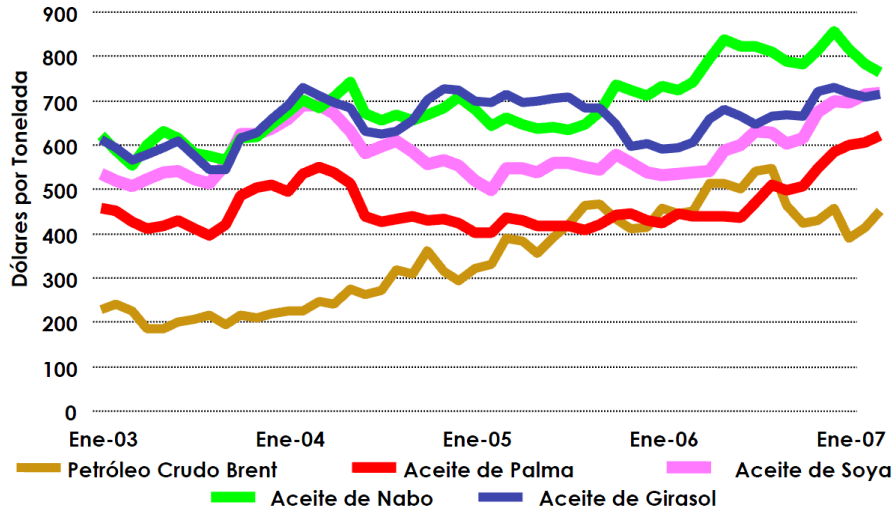


Figura 4.3 Precio de los aceites vegetales y petróleo crudo 2003-2007. Fuente ANIAME

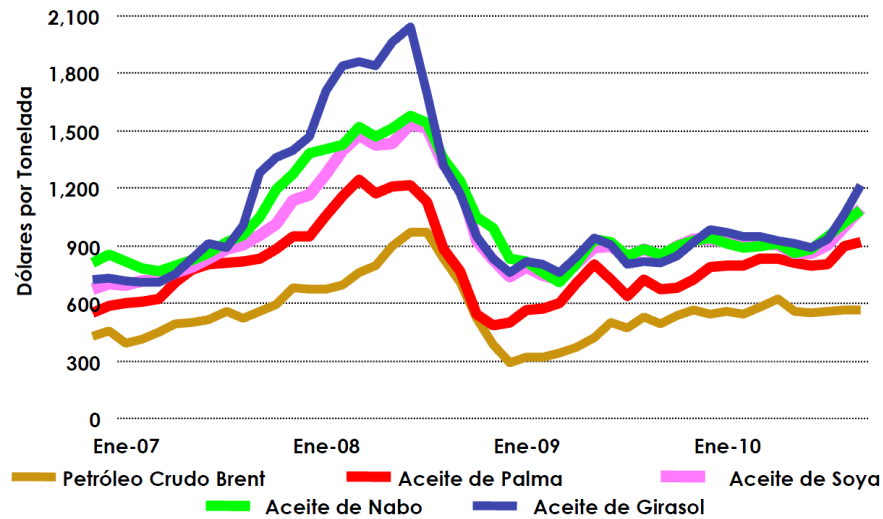
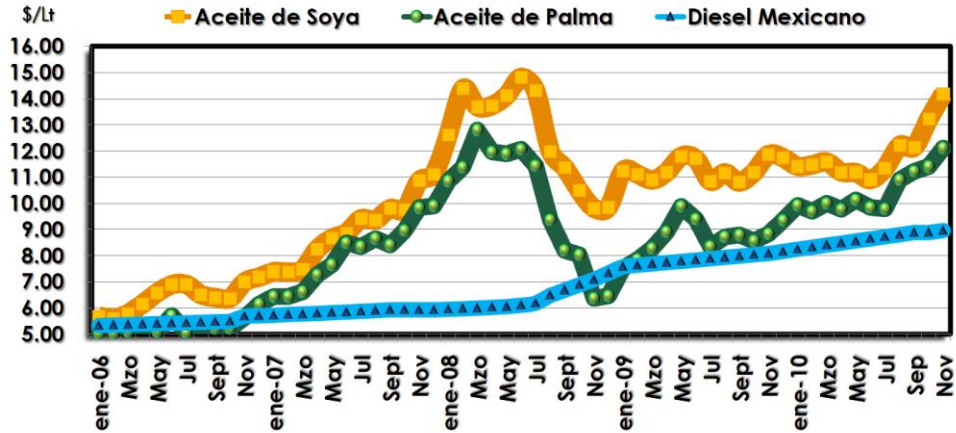


Figura 4.4 Precio de los aceites vegetales y petróleo crudo 2007-2010. Fuente ANIAME

Se aprecia que en el 2008 hubo un incremento en los precios de los aceites vegetales debido a que la demanda de los productos se incrementó.

La Figura 4.5 muestra un comparativo entre el precio del diesel y dos tipos de aceites vegetales de 2006 a finales de 2010 extraído del mismo estudio en donde se aprecia que a partir de la producción de biocombustibles hay una tendencia similar en el incremento de los precios de ambos insumos.

Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección



(Precios promedio mensual, en pesos por litro)

Fuente: Elaborado por ANIAME con información de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y de proveedores y comercializadores para el precio de los Aceites Crudos de Importación de Soya y de Palma (LAB, ciudad de México) y de PEMEX para el precio del diesel.

Figura 4.5. Precios del diesel, aceite de soya y aceite de palma de enero de 2006 a noviembre de 2010.  
Fuente ANIAME

### 4.1.2 Uso del aceite vegetal en México

Si bien las semillas oleaginosas así como los aceites provenientes de éstas tienen diversos usos, en la cultura alimenticia mexicana el aceite vegetal sirve, entre otras cosas, para la cocción de alimentos muchos de éstos de importante tradición y de uso cotidiano por lo que sustituirlos tendría un impacto histórico y cultural significativo.

Las familias mexicanas consumen importantes cantidades de aceite vegetal para cocinar y en los comercios y restaurantes la cantidad de aceite que se usa es mucho mayor debido a las cantidades de alimentos a preparar.

Con información del INGEI sobre ventas e importaciones de aceite vegetal y población en México se obtuvo que el índice de consumo de aceite es de 1.46 [litros/habitante] mensual en el periodo de 2007 a 2021 (Tabla 4.2) habiendo calculado una tasa de consumo de aceite promedio del 2.34% para las ventas y 1.93% para las importaciones (Tabla 4.1), considerando también una tasa de crecimiento poblacional del 1.8 % proporcionada por INEGI. Se extrapoló al periodo 2011-2021 con la finalidad de conocer qué cantidad de aceite aproximadamente se consumirá en el futuro.

Año	Ventas de aceites vegetales comestibles		Importaciones de aceites vegetales comestibles	
	Volumen	Tasa de crecimiento	Volumen	Tasa de crecimiento
	[Millones de Litros]	%	[Millones de Litros]	%
2007	1,022		791	1.93
2008	985	-3.68	806	
2009	1,006	2.15	805	-0.23
2010	1,056	4.99	837	4.09
2011	1,119	5.92	854	1.93
2012	1,145	2.34	870	1.93
2013	1,172	2.34	887	1.93
2014	1,199	2.34	904	1.93
2015	1,227	2.34	921	1.93
2016	1,256	2.34	939	1.93
2017	1,285	2.34	957	1.93
2018	1,316	2.34	976	1.93
2019	1,346	2.34	995	1.93
2020	1,378	2.34	1,014	1.93
2021	1,410	2.34	1,033	1.93
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>1,259.40</b>		<b>940.90</b>	

Tabla 4.1 Ventas e importaciones de aceites vegetales. Fuente. Elaboración propia con datos de INEGI



## Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección

La Tabla 4.2 muestra la hoja de cálculo utilizada para determinar el índice de consumo por habitante basado en el censo poblacional de 2010 y las cifras de ventas e importaciones de aceites comestibles extrapolados ambos a 2021.

Año	Población	Volumen de AV (Ventas e importaciones)	Índice de consumo anual	Índice de consumo mensual
	[Millones de Habitantes]	[Millones de Litros]	[Litros/Habitante]	[Litros/Habitante]
2007	106.48	1,813.54	17.03	1.42
2008	108.40	1,791.16	16.52	1.38
2009	110.35	1,810.51	16.41	1.37
2010	112.34	1,893.56	16.86	1.40
2011	114.36	1,972.23	17.25	1.44
2012	116.42	2,014.92	17.31	1.44
2013	118.51	2,058.54	17.37	1.45
2014	120.65	2,103.12	17.43	1.45
2015	122.82	2,148.67	17.49	1.46
2016	125.03	2,195.21	17.56	1.46
2017	127.28	2,242.78	17.62	1.47
2018	129.57	2,291.38	17.68	1.47
2019	131.90	2,341.04	17.75	1.48
2020	134.28	2,391.79	17.81	1.48
2021	136.69	2,443.65	17.88	1.49
<b>Promedio</b> <b>(2011-2021)</b>			<b>17.56</b>	<b>1.46</b>

Tabla 4.2 Índice de consumo de aceite vegetal por habitante en México. Elaboración propia con datos de INEGI

### 4.1.3 Porcentaje de desecho

Un aspecto muy importante del consumo de aceite es que sólo una porción se consume, el resto se desecha; es decir, el aceite sólo es un medio para obtener un alimento cocinado y el alimento contendrá una cantidad pequeña del aceite en el que se cocinó, por lo tanto una parte del aceite que se compra se convierte en desecho y es muy variable dependiendo de los hábitos del consumidor. De acuerdo con encuestas y estudios realizados en comercios y restaurantes por BioFuels de México este porcentaje de aceite desechado es aproximadamente del 30%, mientras que en un estudio realizado en Ciudad Universitaria sobre los hábitos de consumo de aceite en varias cafeterías muestra que este porcentaje de desecho es aproximadamente de 50% [30].

En el país además del uso doméstico los aceites se utilizan en comercios de comida y restaurantes establecidos y su concentración se encuentra ubicada

principalmente en las grandes urbes por lo que la disposición de los residuos de aceite también se concentra en estos lugares.

#### 4.1.4 Problemas ambientales: agua, riesgos humanos y animales, suelo y aire

##### *Agua*

El aceite comestible usado representa un grave problema ambiental siendo unas de las principales causas de la contaminación del agua ya que generalmente son vertidos en los drenajes produciendo daños ambientales, proliferación de fauna nociva, malos olores aglomeración de los aceites vertidos en los sistemas de drenaje, con esto aglomeración de basura y por ende inundaciones y dificultad en el mantenimiento del drenaje. Se estima que un litro de aceite vertido en el drenaje contamina hasta 1,000 litros de agua; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial en Argentina estima que 1 litro de aceite puede contaminar hasta 10,000 litros de agua [31].

La limpieza del agua resulta muy costosa al contener aceites o grasas ya que para llevarse a cabo se requiere de químicos especiales y de plantas tratadoras de aguas costosas. De no tratarse el agua ésta terminará vertiéndose en cuencas, mares y ríos deteriorando el ambiente.

Existe la posibilidad de que al verter agua contaminada con aceite a los mares terminen siendo consumidas por la fauna y muy probablemente también por los humanos al consumir productos del mar.

##### *Riesgos humanos y animales.*

Es sabido que existen personas que se dedican a recolectar aceite ya cocinado y mediante procesos sencillos lo filtran para que tenga un color normal y revenderlo en los mercados ambulantes a precios más económicos para consumo humano. Estas prácticas son de gran riesgo para la salud humana ya que el aceite cocinado cambia su estructura molecular convirtiéndose en una grasa nociva no apta para la alimentación además de ser una práctica insalubre.

Cuando el aceite vegetal es cocinado se somete a altas temperaturas generándose dioxinas que son agentes cancerígenos. Los componentes benéficos de los aceites (CIS) se tornan en perjudiciales (TRANS) al haberse sometido a altas temperaturas y son difíciles de digerir provocando un aumento en el colesterol malo por lo que el aceite debe calentarse una sola vez y después desecharse responsablemente [31].

Hace algunos años se acostumbraba alimentar a los animales con grasas y aceites usados para lograr aumentar su peso, sin embargo esta práctica se ha prohibido en algunos lugares del mundo por haberse encontrado evidencia de contaminación por dioxinas y se cree que esta práctica es una de las posibles causas de la llamada “enfermedad de las vacas

locas” (Encefalopatía Bovina Espongiforme) dado que las dioxinas son elementos que se almacenan con facilidad en los tejidos y grasas animales.

Al consumir el ser humano productos contaminados por dioxinas en los animales se generan enfermedades relacionadas con estas. Tal es el caso de Bélgica en donde se han encontrado dioxinas en la carne de pollo; y Chile, Corea, Irlanda y Japón han detectado niveles de dioxinas en la carne de cerdo [31].

#### *Suelo*

De verterse el aceite en los tiraderos de basura y al ser éste un líquido se generan lixiviados, que son todas aquellas sustancias líquidas que se desechan y por contaminación de sólidos se aglomeran en los tiraderos arrastrando todo tipo de sustancias orgánicas e inorgánicas muy contaminantes. Se ha encontrado que los lixiviados pueden ser tóxicos y cancerígenos; por la lluvia o por su propia condición líquida son arrastrados contaminando los suelos, las aguas superficiales y subterráneas [31].

#### *Aire.*

Otro de los usos que se le da al aceite es como combustible en hornos y calderas a cielo abierto. Al generarse la combustión se generan dioxinas que contaminan el aire. La consecuencia que se ha encontrado son efectos como toxicidad dérmica, efectos negativos en la salud reproductiva y en los sistemas endócrinos [31].

### **4.1.5 Recolección**

Dada la importante repercusión en el ambiente que tiene el desecho de aceites vegetales cocinados es de suma importancia crear un plan de recolección para el adecuado manejo de este desecho.

A partir de 2003 con la aprobación de la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal [9] se establecen lineamientos que deben llevarse a cabo con el fin de dar un manejo adecuado a los desechos que se generan diariamente.

Una de las disposiciones es empezar a separar los desechos orgánicos e inorgánicos para facilitar su tratamiento o reciclaje aunque el manejo del aceite cocinado debe ser especial, éste debe depositarse en contenedores con tapa y entregarlos al servicio de limpieza junto con los desechos orgánicos para evitar que se derrame y contamine los demás desechos.

Si bien en dicha Ley no se profundiza en la selección o definición de los desechos el aceite comestible usado podría clasificarse como un residuo urbano (aquel que se genera en casas habitación o similares que resultan de las actividades domésticas) y por tratarse de un residuo que se genera en grandes cantidades por establecimientos mercantiles y de servicios, el productor de dicho residuo queda obligado a pagar por los servicios de

**Aceite comestible: procedencia, uso, problemas ambientales y recolección**

recolección y recepción de residuos según los establece el Código Financiero del Distrito Federal [9].

En el país aún no existe la cultura suficiente para dar un tratamiento adecuado para el manejo de este desecho, si bien la Ley lo sugiere existen aún personas que no llevan a cabo el manejo de residuos de acuerdo a esta Ley.

Algunas asociaciones llevan cabo programas de recolección de aceite usado en el país para darle un tratamiento o usarlo en sectores productivos como la industria farmacéutica. La empresa BioFuels de México lo hace en el Distrito Federal y algunos otros estados para procesarlo y convertirlo en biodiésel. Dado que no existe una regulación apropiada, la empresa se ha topado con algunas dificultades para su recolección.

Varios países llevan a cabo ya programas de recolección de aceite que resultan en ser benéficos ambiental y económicamente, tal es el caso de España, Argentina, Brasil, China, por mencionar algunos. Por ejemplo, un estudio realizado en Filipinas muestra que podrían recolectarse cerca de 35,000 litros de aceite en la ciudad de Marikina para su conversión a biodiésel mismo que podría utilizarse en el transporte y lograr reducir los costos de este para los usuarios [32].

## 4.2 Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

El aceite comestible usado representa un gran volumen de desecho en el país, principalmente en las ciudades. Como ya se mencionó, se desecha entre un 30% y 50% de 1 litro de aceite que se compra, por lo que recuperar este volumen representa un potencial importante para la producción de biodiésel. A partir del volumen de ventas e importaciones en el país se puede determinar de manera aproximada que cantidad de aceite usado estará disponible.

Para este trabajo se calculó el volumen de aceite usado disponible a partir de datos del INEGI considerando que se desecha un 30% y 50% del aceite que se compra. Se consideró ambos porcentajes y no uno sólo ya que el volumen a recuperar puede ser muy variable.

Los datos que se encuentran disponibles son el volumen de aceite vegetal (ventas e importaciones) en el periodo de 2007 a 2011 que es el periodo base, para hacer una proyección a años futuros se extrapoló al periodo 2012-2021 de donde se calculó el volumen de aceite disponible. La Tabla 4.3 muestra el volumen de aceite en litros que se registró y la extrapolación calculada a 2021.

Año	Volumen de AV (Ventas e importaciones) [Millones de Litros]
2007	1,813.54
2008	1,791.16
2009	1,810.51
2010	1,893.56
2011	1,972.23
2012	2,014.92
2013	2,058.54
2014	2,103.12
2015	2,148.67
2016	2,195.21
2017	2,242.78
2018	2,291.38
2019	2,341.04
2020	2,391.79
2021	2,443.65
<b>Promedio</b> <b>(2011-2021)</b>	<b>2,200.30</b>

Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Tabla 4.3 Volumen de ventas e importaciones de aceite vegetal comestible 2007 a 2021. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

De este volumen se calculó el porcentaje de aceite vegetal desechado. La Tabla 4.4 muestra el volumen de aceite comestible usado que puede recuperarse.

Año	Aceite vegetal desechado [Millones de Litros]	
	30%	50%
	2007	544.06
2008	537.35	895.58
2009	543.15	905.25
2010	568.07	946.78
2011	591.67	986.12
2012	604.48	1,007.46
2013	617.56	1,029.27
2014	630.94	1,051.56
2015	644.60	1,074.33
2016	658.56	1,097.61
2017	672.83	1,121.39
2018	687.41	1,145.69
2019	702.31	1,170.52
2020	717.54	1,195.90
2021	733.10	1,221.83
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>660.09</b>	<b>1,100.15</b>

Tabla 4.4 Porcentaje de aceite comestible usado que puede recuperarse.

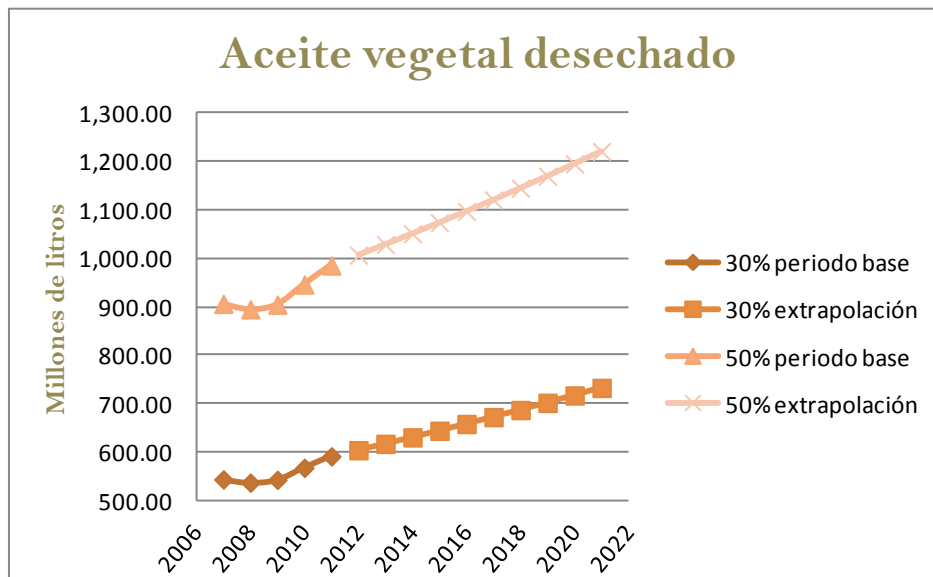


Figura 4.6 Aceite vegetal desechado y su proyección a 2021

## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

De recuperarse la mayor cantidad posible de aceite (50%) se tendría un volumen en el periodo de interés de más de 1,000 millones de litros para su conversión.

Dado que para este estudio se utilizó como referencia el proceso de producción de BioFuels de México, se considera que la reacción de transesterificación tiene una eficiencia del 100% por lo que de 1 litro de aceite se obtendrá 1 litro de biodiésel haciendo uso de la misma tecnología. Por esto el volumen de biodiésel producido será el mismo que el del aceite comestible desechado asumiendo que no hay pérdidas de ningún otro tipo. La Tabla 4.5 muestra el volumen de producción posible de biodiésel a partir de aceite comestible usado y su equivalente en energía.

Año	Potencial de producción de biodiesel a partir de aceite comestible usado			
	[Millones de Litros]		[PJ]	
	30%	50%	30%	50%
2007	544.06	906.77	18.95	31.58
2008	537.35	895.58	18.71	31.19
2009	543.15	905.25	18.91	31.52
2010	568.07	946.78	19.78	32.97
2011	591.67	986.12	20.60	34.34
2012	604.48	1,007.46	21.05	35.08
2013	617.56	1,029.27	21.51	35.84
2014	630.94	1,051.56	21.97	36.62
2015	644.60	1,074.33	22.45	37.41
2016	658.56	1,097.61	22.93	38.22
2017	672.83	1,121.39	23.43	39.05
2018	687.41	1,145.69	23.94	39.90
2019	702.31	1,170.52	24.46	40.76
2020	717.54	1,195.90	24.99	41.65
2021	733.10	1,221.83	25.53	42.55
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>660.09</b>	<b>1,100.15</b>	<b>22.99</b>	<b>38.31</b>

Tabla 4.5 Potencial de producción de biodiésel en México

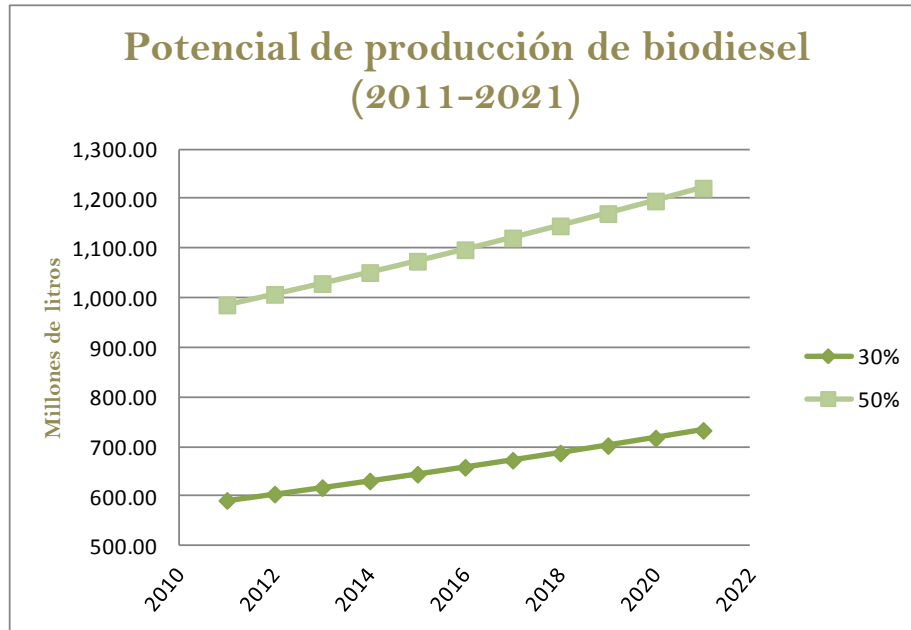


Figura 4.7 Potencial de producción de biodiésel en México

Es evidente que el mejor de los casos será recuperar la mayor cantidad de aceite posible para producir biodiésel, de ser así para el año 2021 se tendrá una producción de cerca de 1,230 millones de litros lo equivalente a un poco más de 42 [PJ] de energía.

La capacidad de producción anual de BioFuels de México es de 288 000 litros de biodiésel, suponiendo la misma tecnología y con la disponibilidad de aceite vegetal en los próximos 10 años se puede estimar la cantidad de plantas totales que pueden instalarse en el país para aprovechar la materia prima.

Si se divide la producción estimada de biodiésel en un año entre la capacidad diaria de BioFuels, es decir de una sola planta, se obtiene el número de plantas que pueden operar por año para la producción de esa cantidad de biodiésel. La Tabla 4.6 muestra el resultado de éste cálculo.



## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Año	Número de plantas posibles con la capacidad de Biofuels	
	[Número de plantas]	
	30%	50%
2007	1,889	3,149
2008	1,866	3,110
2009	1,886	3,143
2010	1,972	3,287
2011	2,054	3,424
2012	2,099	3,498
2013	2,144	3,574
2014	2,191	3,651
2015	2,238	3,730
2016	2,287	3,811
2017	2,336	3,894
2018	2,387	3,978
2019	2,439	4,064
2020	2,491	4,152
2021	2,545	4,242
<b>Promedio</b>	<b>2,292</b>	<b>3,820</b>

*(2011-2021)**Tabla 4.6 Número de plantas posibles para producir biodiésel en el país.*

Una sola planta de este tipo requiere para su operación un total de 20 empleados para operación, mantenimiento, administración, etcétera; por lo que la instalación de estas plantas sería una fuente de empleo que también puede calcularse. La Tabla 4.7 muestra el número de empleos que podrían generarse.

## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Año	Personal requerido	
	[Número de empleos]	
	30%	50%
2007	37,782	62,970
2008	37,316	62,193
2009	37,719	62,865
2010	39,449	65,749
2011	41,088	68,480
2012	41,978	69,963
2013	42,886	71,477
2014	43,815	73,025
2015	44,764	74,607
2016	45,734	76,223
2017	46,724	77,874
2018	47,737	79,562
2019	48,772	81,286
2020	49,829	83,048
2021	50,909	84,849
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>45,840</b>	<b>76,399</b>

Tabla 4.7 Empleos que pueden ofrecerse con la instalación de varias plantas en el país

A partir de estos cálculos cabe mencionar que para 2012 la capacidad de producción de biodiésel con la tecnología existente y con la mayor cantidad posible de aceite recuperado podrían operar en promedio más de 3,500 plantas con producción anual de un poco más de 1,000 millones de litros de biodiésel con una oferta de cerca de 70,000 empleos en el país.

El Distrito Federal es la localidad del país donde se concentra la población y por ende el uso de transporte, con ello la demanda de combustible. Además dado que existe una mayor cantidad de comercios y hogares es la zona del país donde puede recolectarse aceite usado y resulta aún más eficiente y económico instalar plantas procesadoras para la producción de biodiésel en esta zona.

En la Tabla 4.2 se mostró el cálculo que se hizo para obtener el índice de consumo anual de aceite vegetal de una persona en México, con lo que es posible determinar la cantidad de aceite que se consume en el DF conociendo la densidad de población de la zona.

De acuerdo al conteo poblacional de 2010 del INEGI, en ese año en el DF había una población de 8,851,080 habitantes y se estima una tasa de crecimiento del 1.8% con lo que puede calcularse la densidad de población en el periodo de interés (2007-2021). Basta con multiplicar el índice de consumo de aceite vegetal por la población en cada año para determinar la cantidad de aceite consumido en cada año en el DF. La Tabla 4.8 muestra el volumen de aceite vegetal que se consume en el DF.

## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Año	Índice de consumo anual [Litros/Habitante]	Población [Millones de Habitantes DF]	Consumo de AV anual en el DF [Millones de Litros]
2007	17.03	8.39	142.89
2008	16.52	8.54	141.13
2009	16.41	8.69	142.65
2010	16.86	8.85	149.19
2011	17.25	9.01	155.39
2012	17.31	9.17	158.76
2013	17.37	9.34	162.19
2014	17.43	9.51	165.71
2015	17.49	9.68	169.30
2016	17.56	9.85	172.96
2017	17.62	10.03	176.71
2018	17.68	10.21	180.54
2019	17.75	10.39	184.45
2020	17.81	10.58	188.45
2021	17.88	10.77	192.54
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>17.56</b>	<b>9.87</b>	<b>173.36</b>

Tabla 4.8 Volumen de aceite vegetal que se consume en el DF

Entre el 30% y 50% de este volumen de aceite será el disponible para producir biodiésel en el DF. La Tabla 4.9 muestra el potencial de producción de biodiésel en el DF y su equivalente en energía que corresponde al 30% o 50% del consumo de aceite.

## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Año	Potencial de producción de biodiesel en el DF			
	[Millones de Litros]		[PJ]	
	30%	50%	30%	50%
2007	42.87	71.45	1.49	2.49
2008	42.34	70.56	1.47	2.46
2009	42.80	71.33	1.49	2.48
2010	44.76	74.60	1.56	2.60
2011	46.62	77.70	1.62	2.71
2012	47.63	79.38	1.66	2.76
2013	48.66	81.10	1.69	2.82
2014	49.71	82.85	1.73	2.89
2015	50.79	84.65	1.77	2.95
2016	51.89	86.48	1.81	3.01
2017	53.01	88.35	1.85	3.08
2018	54.16	90.27	1.89	3.14
2019	55.34	92.23	1.93	3.21
2020	56.54	94.23	1.97	3.28
2021	57.76	96.27	2.01	3.35
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>52.01</b>	<b>86.68</b>	<b>1.81</b>	<b>3.02</b>

Tabla 4.9 Potencial de producción de biodiésel en el DF a partir de aceite comestible usado.

Para la producción de este volumen de biodiésel se requiere la instalación de plantas y personal, de la misma manera que se calculó para el país es posible determinar el número de plantas y empleos que se generarían con esta materia disponible. La Tabla 4.10 muestra los resultados de este cálculo considerando la misma tecnología de BioFuels de México.

## Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

Año	Número de plantas posibles con la capacidad de BioFuels		Personal requerido	
	[Número de plantas]		[Número de empleos]	
	30%	50%	30%	50%
2007	148.84	248.07	2,976.88	4,961.47
2008	147.01	245.01	2,940.15	4,900.25
2009	148.60	247.66	2,971.90	4,953.17
2010	155.41	259.02	3,108.23	5,180.38
2011	161.87	269.78	3,237.37	5,395.61
2012	165.37	275.62	3,307.44	5,512.40
2013	168.95	281.59	3,379.05	5,631.75
2014	172.61	287.68	3,452.22	5,753.69
2015	176.35	293.92	3,526.98	5,878.31
2016	180.17	300.28	3,603.39	6,005.64
2017	184.07	306.79	3,681.46	6,135.76
2018	188.06	313.44	3,761.24	6,268.73
2019	192.14	320.23	3,842.76	6,404.60
2020	196.30	327.17	3,926.06	6,543.44
2021	200.56	334.27	4,011.19	6,685.32
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>180.59</b>	<b>300.98</b>	<b>3,611.74</b>	<b>6,019.57</b>

Tabla 4.10 Número de plantas posibles y personal requerido en el DF

La Tabla 4.11 muestra los valores promedio en el periodo de interés (2011-2021) de producción de biodiésel, el número de plantas que pueden instalarse con este potencial de producción y el número de empleos que se generarían en el país, de manera particular en el DF así como el porcentaje de participación que estos valores representan en el país.

Localidad	Producción de biodiesel		Número de plantas posibles con la capacidad de BioFuels		Personal requerido		Porcentaje de participación en la producción de biodiesel
	[Millones de Litros]		[Número de plantas]		[Número de empleos]		
	30%	50%	30%	50%	30%	50%	[%]
<b>México</b>	660.09	1,100.15	2,291.98	3,819.97	45,839.65	76,399.42	100
<b>DF</b>	52.01	86.68	180.59	300.98	3,611.74	6,019.57	7.88
<b>Resto del país</b>	608.08	1,013.47	2,111.40	3,518.99	42,227.91	70,379.85	92.12

\*Valores promedio en el periodo de interés (2011-2021)

Tabla 4.11 Participación México – DF en la producción de biodiésel.

En la Figura 4.8 se muestra en qué dimensión se produciría biodiésel en el DF en comparación con la producción total del país.

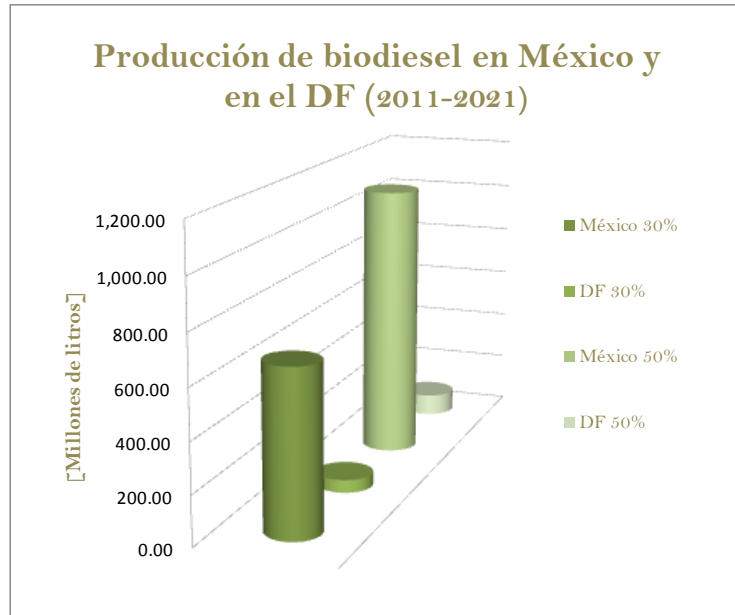


Figura 4.8 Producción de biodiésel en México y en el DF.

En la Figura 4.9 se detalla el porcentaje de participación que tendría la producción de biodiésel en el DF en el resto del país.

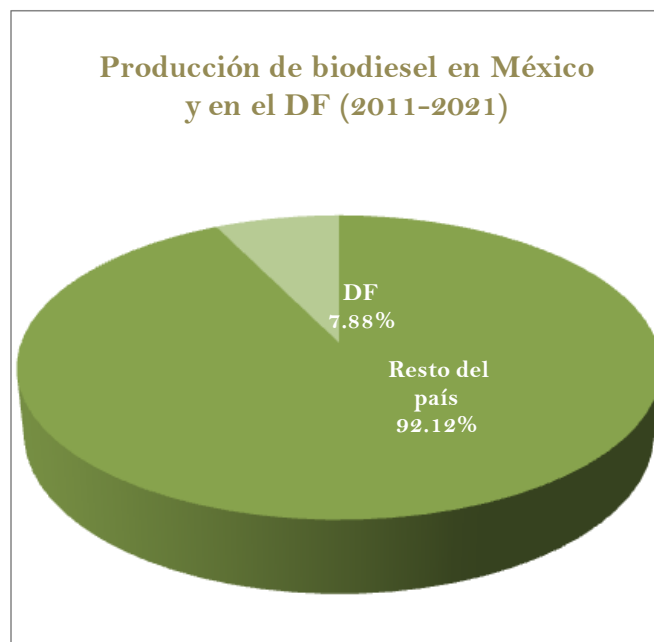


Figura 4.9 Porcentaje de de producción de biodiésel en el DF y en el resto del país.

Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

En la siguiente tabla (Tabla 4.12) se muestra un resumen del potencial de biodiésel a producir a partir de aceite comestible usado en toneladas anuales.

Localidad	Producción de biodiesel			
	[Millones de Litros]		[Miles de Toneladas]	
	30%	50%	30%	50%
<b>México</b>	660.09	1,100.15	0.59	0.98
<b>DF</b>	52.01	86.68	0.05	0.08
<b>Resto del país</b>	608.08	1,013.47	0.54	0.90

Tabla 4.12 Potencial de producción de biodiésel en toneladas anuales

Se requeriría procesar entre 600 mil y poco más de 1 millón de toneladas de biodiésel anuales en el país. En su estudio “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para Transporte en México” [6] la SENER propone usar tecnologías ya existentes en el mundo y muestra una tabla de las compañías que podrían proveer de la tecnología necesaria a México dependiendo de la materia a tratar, el volumen y el contenido de ácidos grasos de la misma. En la siguiente tabla la SENER enlista estas compañías así como algunos datos relevantes como las plantas que se han instalado con la misma tecnología, la cantidad de materia prima anual a procesar y nivel del costo que implica cada tecnología.

Empresas propuestas por SENER para proveer de tecnología para producir biodiesel en el país					
Compañía	Contenido máximo de ácidos grasos de la materia prima	Grado de innovación	Plantas establecidas	Cantidad de materia prima a tratar (en toneladas anuales)	Nivel de costo
AGERATEC, Carry On, SE	<1%	Bajo	--	0.26-5	Bajo
IBG Monforts Oekotec	<1%	Bajo	10	0.45-3.6	Bajo
Westfalia-D	<1%	Medio	3	100-120	Alto
De Smet Ballestra-B/I	<1%	Bajo	1	100	Medio
Lurgi Life-D	<1%	Bajo	3	100	Alto
AT Agrartechnik-D	<3%	Bajo	3	53-75	Medio
Energea-A	>20%	Muy alto	3	40-(250)	Bajo
BDI-A	>20%	Alto	6	30-50	Alto

Tabla 4.13 Tecnologías a usar propuestas por la SENER para la producción de biodiésel [6]

Potencial de producción de biodiésel en México y en el DF

En la Tabla 4.11 se muestran los valores promedio de producción de biodiésel posibles en el periodo de interés (2011-2021), el mejor de los escenarios (al recuperar la mayor cantidad posible de aceite comestible usado) muestra que es posible fabricar más de 86 millones de litros de biodiésel en el DF.

En esta localidad diariamente se requieren grandes cantidades de combustible diesel para satisfacer la demanda del transporte público. Uno de los sistemas de transporte es la Red de Transporte de Pasajeros (RTP) cuyos recorridos son de 200 km al día en promedio de acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Usar B20 en esta red de transporte podría abastecer a más de 11 mil autobuses en un año de operación. La Tabla 4.14 muestra la hoja de cálculo utilizada para determinar esta cifra de autobuses que podrían abastecerse con el biocombustible.

Cálculo del número de autobuses que podrían abastecerse con B20 en el DF						
Rendimiento	Rutas	Combustible por autobús	Biodiesel para mezcla B20		Autobuses que podrían abastecerse con la producción anual de biodiesel	
[km/Litro]	[km/día]	[Litros/día]	[Litros diarios/autobús]	[Litros anuales/autobús]	[Autobuses anuales]	[Autobuses diarios]
2	200	100	20	7300	11,874.22	32.53

Tabla 4.14 Autobuses RTP que podrían usar B20



Figura 4.10 Autobuses RTP



### 4.3 Emisiones totales por la producción de biodiésel

La producción de biodiésel lleva consigo la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, en el Capítulo 3 de este trabajo se detalló en la determinación de las emisiones de este gas por producción de 1 litro de biodiésel en base a la tecnología de BioFuels, se determinó que 1 litro de biodiésel producido genera cerca de 0.1481 [kg/litro] de CO<sub>2</sub>. Dado que el potencial de producción de biodiésel en México y en DF se definió a partir de la misma tecnología es posible calcular las emisiones que se generarán a partir de este dato. Basta con multiplicar este factor por la producción de biodiésel en cada localidad. La Tabla 4.15 muestra los resultados.

Año	Producción de biodiesel en México		Emisiones de CO <sub>2</sub>	
	[Millones de Litros]		[Miles de Ton CO <sub>2</sub> ]	
	30%	50%	30%	50%
2007	544.06	906.77	80.62	134.37
2008	537.35	895.58	79.63	132.71
2009	543.15	905.25	80.49	134.15
2010	568.07	946.78	84.18	140.30
2011	591.67	986.12	87.68	146.13
2012	604.48	1,007.46	89.58	149.29
2013	617.56	1,029.27	91.51	152.52
2014	630.94	1,051.56	93.50	155.83
2015	644.60	1,074.33	95.52	159.20
2016	658.56	1,097.61	97.59	162.65
2017	672.83	1,121.39	99.70	166.17
2018	687.41	1,145.69	101.87	169.78
2019	702.31	1,170.52	104.07	173.45
2020	717.54	1,195.90	106.33	177.22
2021	733.10	1,221.83	108.63	181.06
<b>Promedio (2011-2021)</b>			<b>97.82</b>	<b>163.03</b>

Tabla 4.15 Emisiones de producción de biodiésel en México (2011-2021)

De producirse el total del potencial de biodiésel en el país se generarían en promedio de 2011-2021 entre 97 y 163 miles de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Es posible también calcular esta cifra sólo para la región DF. La Tabla 4.16 muestra el resultado de este cálculo que se realizó de manera análoga al caso México.

## Emisiones totales por la producción de biodiésel

Año	Producción de biodiésel en en DF		Emisiones de CO <sub>2</sub>	
	[Millones de Litros]		[Miles de Ton CO <sub>2</sub> ]	
	30%	50%	30%	50%
2007	42.87	71.45	6.35	10.59
2008	42.34	70.56	6.27	10.46
2009	42.80	71.33	6.34	10.57
2010	44.76	74.60	6.63	11.05
2011	46.62	77.70	6.91	11.51
2012	47.63	79.38	7.06	11.76
2013	48.66	81.10	7.21	12.02
2014	49.71	82.85	7.37	12.28
2015	50.79	84.65	7.53	12.54
2016	51.89	86.48	7.69	12.82
2017	53.01	88.35	7.86	13.09
2018	54.16	90.27	8.03	13.38
2019	55.34	92.23	8.20	13.67
2020	56.54	94.23	8.38	13.96
2021	57.76	96.27	8.56	14.27
<b>Promedio (2011-2021)</b>			<b>7.71</b>	<b>12.85</b>

Tabla 4.16 Emisiones de producción de biodiésel en el DF (2011-2021)

En el DF se generarían entre 7,000 y 12,000 toneladas de CO<sub>2</sub> por producción de biodiésel, lo que representa cerca del 8% de las emisiones totales que se generarían en el país por producir este biocombustible.

#### 4.4 Inversión necesaria

Para llevar a cabo la instalación de varias plantas en el país se requiere hacer una inversión importante. En la Tabla 3.3 del Capítulo 3 se detalló en los costos que representa la instalación, operación y mantenimiento de la planta BioFuels de México. Se plantearon varios casos para realizar el cálculo de la inversión anualizada que implica que la compra del aceite usado sea de \$0, \$2, \$4 o \$6. Para calcular que inversión se requiere a nivel nacional y DF se tomará el caso de que la compra del aceite sea de \$2 por litro, lo que implica que la inversión anualizada que se requiera sea de \$2,869,865.69 de acuerdo al cálculo realizado en la Tabla 3.3 ya mencionada.

Basta con multiplicar esta inversión anualizada por el número total de plantas instaladas en cada localidad. La Tabla 4.17 muestra la inversión necesaria para instalar plantas productoras de biodiésel en México y en el DF así como el capital promedio requerido en el periodo de interés (2011-2021).

Año	Inversión necesaria para la instalación de plantas de biodiesel			
	México		Sólo DF	
	[Millones de pesos]			
	30%	50%	30%	50%
2007	5,421.49	9,035.81	427.16	711.94
2008	5,354.58	8,924.31	421.89	703.15
2009	5,412.41	9,020.68	426.45	710.75
2010	5,660.68	9,434.47	446.01	743.35
2011	5,895.88	9,826.46	464.54	774.23
2012	6,023.50	10,039.16	474.60	790.99
2013	6,153.90	10,256.50	484.87	808.12
2014	6,287.16	10,478.60	495.37	825.62
2015	6,423.32	10,705.54	506.10	843.50
2016	6,562.47	10,937.44	517.06	861.77
2017	6,704.65	11,174.42	528.26	880.44
2018	6,849.94	11,416.57	539.71	899.52
2019	6,998.41	11,664.02	551.41	919.02
2020	7,150.12	11,916.87	563.36	938.94
2021	7,305.16	12,175.26	575.58	959.30
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>6,577.68</b>	<b>10,962.80</b>	<b>518.26</b>	<b>863.77</b>

Tabla 4.17 Inversión necesaria para la instalación de plantas productoras de biodiésel en México y sólo en el DF

Para el país se requieren entre 6,000 y 10,000 millones de pesos para instalar plantas productoras de biodiésel con la misma tecnología de BioFuels. Para el caso particular del DF se requieren entre 500 y cerca de 900 millones de pesos para explotar el potencial existente en esta localidad.

## 5. Potencial de uso de biodiésel

*5.1 Diesel desplazado por biodiésel*

*5.2 Emisiones evitadas*

*5.3 Costo de emisiones evitadas*

El uso de diesel genera hoy en día varias emisiones contaminantes, de seguir con esta tendencia de consumo, para el 2021 estaremos generando el 150% de emisiones que se generan actualmente. Si se logra usar biodiésel para reemplazar en un porcentaje el diesel convencional estaremos mitigando importantes cantidades de CO<sub>2</sub> que se envía a la atmósfera.

Se muestra en este Capítulo el cálculo que se llevó a cabo para determinar en qué volumen puede sustituir el biodiésel de aceite comestible usado al diesel que va desde del 3.5% al 5.8%, cuántas emisiones de CO<sub>2</sub> pueden evitarse y el costo que esto representa.

### 5.1 Diesel desplazado por biodiésel

La idea de producir biodiésel es poder reemplazar, si no al 100% sí en un porcentaje, el diesel de petróleo con la finalidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y sobre todo contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero.

Se tomaron los balances de energía de 1998 a 2010 para contabilizar la cantidad de diesel que se consume en el sector transporte y poder extrapolar a 10 años conservando un comportamiento lineal. La Tabla 5.1 muestra los resultados.

Consumo de energía en el sector transporte		
Año	Diesel [PJ]	Tasa de crecimiento %
1998	354.98	
1999	365.36	2.92
2000	373.24	2.16
2001	363.61	-2.58
2002	369.27	1.56
2003	395.62	7.13
2004	434.17	9.74
2005	437.79	0.83
2006	477.03	8.96
2007	518.00	8.59
2008	581.27	12.22
2009	518.87	-10.74
2010	537.12	3.52
2011	556.96	3.69
2012	577.53	3.69
2013	598.86	3.69
2014	620.97	3.69
2015	643.91	3.69
2016	667.69	3.69
2017	692.35	3.69
2018	717.91	3.69
2019	744.43	3.69
2020	771.92	3.69
2021	800.43	3.69

*Tabla 5.1 Consumo de diesel para transporte en México*

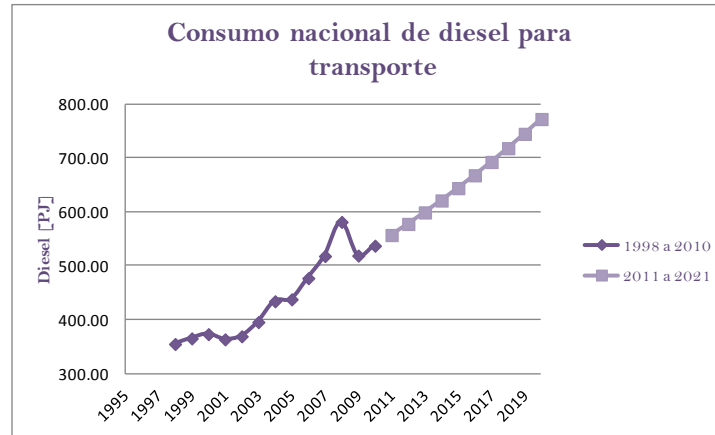


Figura 5.1 Tendencia de consumo de diesel para transporte en México a 2021

En el gráfico se observa que la tendencia es creciente y que para el 2021 estaremos consumiendo casi el doble que en el 2010 de diesel para transporte.

El consumo de este combustible genera varias toneladas de CO<sub>2</sub> producto de la combustión que se realiza para aprovechar su energía. Mediante la metodología del IPCC para el cálculo de emisiones que consiste únicamente multiplicar la energía consumida por el factor de emisión de este combustible, se presenta a continuación el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 2007-2010 y su posible comportamiento a 2012. La Tabla 5.2 muestra los resultados.

Año	Factor de emisión Diesel 74100 [kg de CO <sub>2</sub> /TJ]		Emisiones de CO <sub>2</sub> [Millones de Ton CO <sub>2</sub> ]
	Demanda de Diesel [PJ]	[TJ]	
2007	518.00	517,996.00	38.38
2008	581.27	581,270.00	43.07
2009	518.87	518,870.00	38.45
2010	537.12	537,120.00	39.80
2011	556.96	556,956.82	41.27
2012	577.53	577,526.24	42.79
2013	598.86	598,855.33	44.38
2014	620.97	620,972.14	46.01
2015	643.91	643,905.77	47.71
2016	667.69	667,686.38	49.48
2017	692.35	692,345.25	51.30
2018	717.91	717,914.81	53.20
2019	744.43	744,428.71	55.16
2020	771.92	771,921.81	57.20
2021	800.43	800,430.28	59.31
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>672.09</b>	<b>672,085.78</b>	<b>49.80</b>

Tabla 5.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de diesel para transporte en México (2007-2021)

De acuerdo a este cálculo, en la Figura 5.2 se muestra la tendencia en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de diesel para transporte en el país.

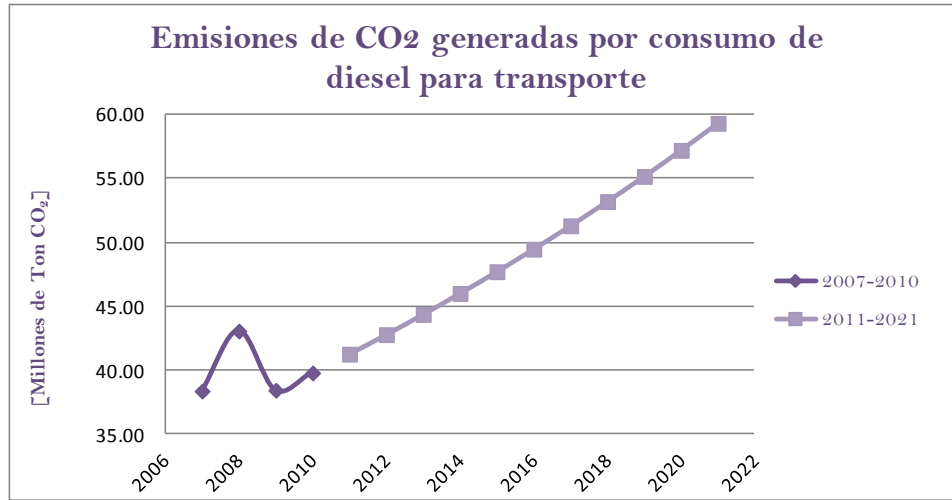


Figura 5.2 Tendencia en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de diesel para transporte

De continuar con la misma tendencia en el consumo de diesel para transporte estaremos generando en 2021 aproximadamente el 150% de emisiones que se generaron en 2010 por la quema de diesel para transporte.

Con la producción de biodiésel es posible reemplazar el consumo de diesel en un porcentaje significativo que deriva en muchos beneficios ambientales, económicos y sociales, entre estos la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Los modelos más recientes de motores a diesel cuentan ya con sistemas que evitan la emisión de contaminantes en un porcentaje por lo que es recomendable usar biodiésel en mezcla en modelos antiguos que aún continúan en operación. Se ha encontrado que la mezcla óptima para estos motores es del 20% de biodiésel con 80% de diesel (B20). Algunos países usan ya mezclas de biodiésel que van desde en B5 hasta el B20 logrando resultados favorables en la disminución de emisiones contaminantes.

A partir de los datos anteriores de consumo es posible calcular cuánto diesel podría reemplazarse. Para hacer el cálculo del biodiésel que se requiere para mezcla que sea suficiente para abastecer el consumo de diesel nacional se calculó cuánto diesel se consume en litros, el 20% de esta cantidad es la requerida en litros de biodiésel para cubrir la demanda. La Tabla 5.3 muestra cuántos litros de diesel (a partir de sus características físicas) y biodiésel se requieren para abastecer el consumo de B20.

<b>Poder calorífico del Diesel</b>	<b>42.03</b>	<b>[MJ/kg]</b>
<b>Densidad del Diesel</b>	<b>0.85</b>	<b>[kg/litro]</b>

Año	Consumo Diesel Nacional		Biodiesel necesario para mezcla en 20%
	[TJ]	[Millones de Litros]	[Millones de Litros]
2007	517,996.00	14,499.34	2,899.87
2008	581,270.00	16,270.45	3,254.09
2009	518,870.00	14,523.80	2,904.76
2010	537,120.00	15,034.64	3,006.93
2011	556,956.82	15,589.90	3,117.98
2012	577,526.24	16,165.66	3,233.13
2013	598,855.33	16,762.69	3,352.54
2014	620,972.14	17,381.76	3,476.35
2015	643,905.77	18,023.70	3,604.74
2016	667,686.38	18,689.35	3,737.87
2017	692,345.25	19,379.58	3,875.92
2018	717,914.81	20,095.30	4,019.06
2019	744,428.71	20,837.46	4,167.49
2020	771,921.81	21,607.03	4,321.41
2021	800,430.28	22,405.01	4,481.00
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>672,085.78</b>	<b>18,812.49</b>	<b>3,762.50</b>

*Tabla 5.3 Consumo Nacional de Diesel y Biodiésel necesario para B20 en litros (2007-2021)*

En la Tabla 4.5 de Capítulo 4 se mostró la capacidad de producción de biodiésel en el país a partir de aceite comestible usado y considerando los resultados de la tabla anterior (Tabla 5.3), para cubrir la demanda del 20% de consumo de diesel se obtiene que el biodiésel producido no es suficiente. Con la producción de biodiésel se calculó qué porcentaje se puede sustituir del consumo de diesel.

Se recuperó la Tabla 4.5 y se calculó el porcentaje en el que es posible combinar lo producido con diesel de acuerdo al consumo antes calculado. La Tabla 5.4 muestra el resultado.



Año	Biodiesel producido a partir de aceite vegetal cocinado		Porcentaje posible de mezcla con Diesel	
	[Millones de Litros]		%	
	30%	50%	30%	50%
2007	544.06	906.77	3.75	6.25
2008	537.35	895.58	3.30	5.50
2009	543.15	905.25	3.74	6.23
2010	568.07	946.78	3.78	6.30
2011	591.67	986.12	3.80	6.33
2012	604.48	1,007.46	3.74	6.23
2013	617.56	1,029.27	3.68	6.14
2014	630.94	1,051.56	3.63	6.05
2015	644.60	1,074.33	3.58	5.96
2016	658.56	1,097.61	3.52	5.87
2017	672.83	1,121.39	3.47	5.79
2018	687.41	1,145.69	3.42	5.70
2019	702.31	1,170.52	3.37	5.62
2020	717.54	1,195.90	3.32	5.53
2021	733.10	1,221.83	3.27	5.45
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>660.09</b>	<b>1,100.15</b>	<b>3.53</b>	<b>5.88</b>

*Tabla 5.4 Porcentaje posible en mezcla con diesel*

Con el potencial de producción de biodiésel a partir de aceite comestible usado en México es posible realizar mezclas de biodiésel de un 3% a 6% (es decir, usar B3 A B6) aproximadamente con diesel convencional para satisfacer la demanda de este combustible.

En la Tabla 5.5 se calculó el potencial de producción de biodiésel a partir de otras fuentes para lograr realizar mezclas en 20% con diesel convencional. Cabe señalar que en el país ya se produce biodiésel a partir de jatropha y de otras semillas oleaginosas, con lo que la mezcla al 20% podría ser posible.

Año	Demanda de biodiesel de otras fuentes para alcanzar B20	
	[Millones de Litros]	
	30%	50%
2007	2,355.80	1,993.10
2008	2,716.74	2,358.51
2009	2,361.61	1,999.51
2010	2,438.86	2,060.15
2011	2,526.31	2,131.86
2012	2,628.66	2,225.67
2013	2,734.97	2,323.26
2014	2,845.42	2,424.79
2015	2,960.14	2,530.41
2016	3,079.31	2,640.26
2017	3,203.08	2,754.53
2018	3,331.65	2,873.37
2019	3,465.18	2,996.97
2020	3,603.87	3,125.51
2021	3,747.91	3,259.18
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>3,102.41</b>	<b>2,662.35</b>

*Tabla 5.5 Biodiésel requerido para lograr mezclas en 20% con diesel convencional a partir de fuentes diferentes al aceite vegetal usado.*

En promedio se tendría que producir entre 2,500 y 3,000 millones de litros de biodiésel de otras fuentes para lograr hacer mezclas hasta de 20% con diesel y satisfacer la demanda nacional de energía para transporte.

## 5.2 Emisiones evitadas

Uno de los objetivos principales de este trabajo es conocer en qué proporción se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de biodiésel. Para calcular la cantidad de emisiones del proyecto se utilizó una metodología muy sencilla; es necesario saber en qué cantidad en términos de energía el biodiésel sustituirá al diesel para restarlo del consumo del combustible (diesel), esta cantidad resultante se multiplica por el factor de emisión del diesel lo que da como resultado las emisiones por uso de diesel con una fracción de biodiésel y se suman las emisiones por producción de biodiésel. La fórmula para el cálculo de emisiones del proyecto es la siguiente:

$$Emisiones_{Proyecto} = \left\{ (E_{Diesel} - E_{Biodiesel}) [TJ] * Fe_{Diesel} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{TJ} \right] \right\} + Emisiones_{ProdBD} [kg_{CO_2}]$$

La Tabla 4.5 del Capítulo 4 muestra el potencial en litros de biodiésel que puede producirse. A partir de sus características físicas puede obtenerse este potencial en términos de energía. En la Tabla 5.6 se muestra este potencial del biodiésel en TJ.

Año	Densidad del Biodiesel		Poder calorífico del Biodiesel a partir de AVC	
	0.887		39.26	
	[kg/litro]		[MJ/kg]	
Biodiesel producido a partir de aceite vegetal cocinado				
	[Miles de Toneladas]		[TJ]	
	30%	50%	30%	50%
2007	482.58	804.31	18,946.25	31,577.08
2008	476.63	794.38	18,712.45	31,187.41
2009	481.78	802.96	18,914.52	31,524.21
2010	503.88	839.79	19,782.16	32,970.26
2011	524.81	874.69	20,604.08	34,340.13
2012	536.17	893.62	21,050.07	35,083.44
2013	547.78	912.96	21,505.79	35,842.98
2014	559.64	932.73	21,971.47	36,619.12
2015	571.76	952.93	22,447.33	37,412.21
2016	584.15	973.58	22,933.58	38,222.64
2017	596.80	994.67	23,430.46	39,050.77
2018	609.74	1,016.23	23,938.21	39,897.01
2019	622.95	1,038.25	24,457.06	40,761.76
2020	636.46	1,060.76	24,987.25	41,645.41
2021	650.26	1,083.76	25,529.04	42,548.40
<b>Promedio</b> <i>(2011-2021)</i>	<b>585.50</b>	<b>975.83</b>	<b>22,986.76</b>	<b>38,311.26</b>

Tabla 5.6. Producción de biodiésel en términos de energía

En la Tabla 5.7 se muestra la primera parte de la ecuación calculada, es decir las emisiones que se generarían si se usa mezcla con biodiésel, considerando que el factor de emisión del diesel es de 74,100 [kg CO<sub>2</sub>/TJ].

(Energía del Diesel - Energía del Biodiesel) [TJ] \* Factor de emisión del Diesel [kg de CO<sub>2</sub>/TJ]

Año	Energía del Diesel	Energía del Biodiesel		Emisiones de CO <sub>2</sub> usando una parte de biodiesel	
	[TJ]	[TJ]		[MTon de CO <sub>2</sub> ]	
		30%	50%	30%	50%
2007	517,996.00	18,946.25	31,577.08	36.98	36.04
2008	581,270.00	18,712.45	31,187.41	41.69	40.76
2009	518,870.00	18,914.52	31,524.21	37.05	36.11
2010	537,120.00	19,782.16	32,970.26	38.33	37.36
2011	556,956.82	20,604.08	34,340.13	39.74	38.73
2012	577,526.24	21,050.07	35,083.44	41.23	40.20
2013	598,855.33	21,505.79	35,842.98	42.78	41.72
2014	620,972.14	21,971.47	36,619.12	44.39	43.30
2015	643,905.77	22,447.33	37,412.21	46.05	44.94
2016	667,686.38	22,933.58	38,222.64	47.78	46.64
2017	692,345.25	23,430.46	39,050.77	49.57	48.41
2018	717,914.81	23,938.21	39,897.01	51.42	50.24
2019	744,428.71	24,457.06	40,761.76	53.35	52.14
2020	771,921.81	24,987.25	41,645.41	55.35	54.11
2021	800,430.28	25,529.04	42,548.40	57.42	56.16
<b>Promedio</b> <b>(2011-2021)</b>	<b>672,085.78</b>	<b>22,986.76</b>	<b>38,311.26</b>	<b>48.10</b>	<b>46.96</b>

Tabla 5.7 Emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de diesel con biodiésel parra transporte

La Tabla 3.15 del Capítulo 3 muestra las emisiones de producción de biodiésel a partir de aceite comestible usado en México. Adicionar este resultado (Tabla 5.7) a las emisiones de producción se conocerán las emisiones del proyecto. La Tabla 5.8 muestra la cantidad de emisiones totales por uso de biodiésel a partir de aceite comestible usado en mezcla con diesel que oscila entre las 47 y 48 millones de toneladas.

Año	Emisiones del proyecto	
	[MTon de CO <sub>2</sub> ]	
	30%	50%
2007	37.06	36.18
2008	41.77	40.89
2009	37.13	36.25
2010	38.42	37.50
2011	39.83	38.87
2012	41.32	40.34
2013	42.87	41.87
2014	44.48	43.46
2015	46.15	45.10
2016	47.87	46.81
2017	49.67	48.58
2018	51.53	50.41
2019	53.45	52.32
2020	55.45	54.29
2021	57.53	56.34
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>48.20</b>	<b>47.13</b>

Tabla 5.8 Emisiones del proyecto

A partir de estos datos es posible calcular el porcentaje de reducción de emisiones con el uso de biodiésel. Con los datos de la Tabla 5.1 y el factor de emisión del diesel es posible conocer la cantidad de emisiones que el diesel sólo genera (Tabla 5.9).

Año	Emisiones sólo usando Diesel
	[MTon de CO <sub>2</sub> ]
	2007
2008	43.07
2009	38.45
2010	39.80
2011	41.27
2012	42.79
2013	44.38
2014	46.01
2015	47.71
2016	49.48
2017	51.30
2018	53.20
2019	55.16
2020	57.20
2021	59.31
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>49.80</b>

Tabla 5.9 Emisiones usando sólo diesel para transporte

Al comparar las emisiones del proyecto (usar todo el potencial de B20) con las emisiones del uso de diesel es posible determinar qué cantidad y porcentaje se evitaría generar de CO<sub>2</sub> en el país en el periodo de interés.

Año	Emisiones evitadas [MTon de CO <sub>2</sub> ]		Porcentaje de reducción de emisiones %	
	30%	50%	30%	50%
	2007	1.32	2.21	3.45
2008	1.31	2.18	3.03	5.06
2009	1.32	2.20	3.44	5.73
2010	1.38	2.30	3.47	5.79
2011	1.44	2.40	3.49	5.81
2012	1.47	2.45	3.44	5.73
2013	1.50	2.50	3.38	5.64
2014	1.53	2.56	3.34	5.56
2015	1.57	2.61	3.29	5.48
2016	1.60	2.67	3.24	5.40
2017	1.64	2.73	3.19	5.32
2018	1.67	2.79	3.14	5.24
2019	1.71	2.85	3.10	5.16
2020	1.75	2.91	3.05	5.09
2021	1.78	2.97	3.01	5.01
<b>Promedio (2011-2021)</b>	<b>1.61</b>	<b>2.68</b>	<b>3.24</b>	<b>5.40</b>

Tabla 5.10 Emisiones evitadas

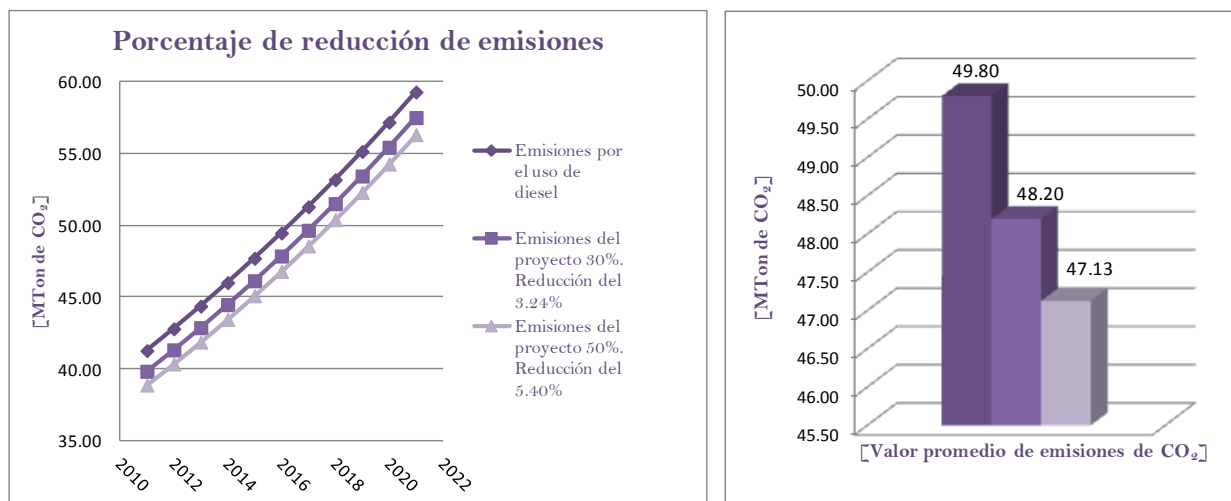


Figura 5.3 Porcentaje de reducción de emisiones

### 5.3 Costo de emisiones evitadas

Este costo representa la cantidad monetaria que implica desplazar una tecnología por otra para evita emisiones contaminantes, para este estudio este costo es la cantidad monetaria que implica usar 1 litro de B20 para mitigar emisiones de CO<sub>2</sub>.

La expresión que se utiliza para conocer esta cantidad monetaria es la siguiente:

$$\text{Costo de emisiones evitadas} = \frac{\text{Precio de 1 litro}_{\text{Biodiesel}} - \text{Precio de 1 litro}_{\text{Diesel}}}{\text{Emisiones evitadas unitarias}}$$

A continuación se describirán los términos de cada ecuación.

En el Capítulo 3 se realizó un análisis de sensibilidad que muestra que el precio comercial al que se puede ofrecer un litro de biodiésel es variable debido a que éste depende del costo al que se compre el AVU y del tipo de inversión que se realice (pública o privada). A continuación se muestra una tabla resumen de este análisis de sensibilidad (Tabla 5.11).

Resumen análisis de sensibilidad. Precio de venta calculado de un litro de biodiesel a diferentes tasas de descuento y diferentes utilidades							
	IVA	Tasa de descuento	Utilidad	Costo de compra de un litro de AVC [€]			
				0	2	4	6
Precio de venta + IVA	16%	12%	10%	10.27	12.84	15.42	18.00
		20%		10.65	13.23	15.80	18.38
		30%		11.18	13.76	16.33	18.91
	16%	12%	20%	11.55	14.45	17.35	20.25
		20%		11.98	14.88	17.78	20.68
		30%		12.58	15.48	18.38	21.28

Tabla 5.11 Resumen análisis de sensibilidad. Precio de venta calculado de un litro de biodiésel

Como se mencionó anteriormente el precio de 1 litro de diesel es de \$10.45 a la fecha calculada, dicho valor será constante en el cálculo del costo de emisiones evitadas.

A continuación se muestra el cálculo de las emisiones evitadas de 1 litro de B20 que es el cociente, también constante, en la operación.

Se utilizará la misma expresión utilizada en el subtema 5.2 para determinar las emisiones unitarias de diesel, a éstas se le restarán las emisiones unitarias de B20 calculadas de la misma manera para obtener las emisiones evitadas al usar 1 litro de B20. En la Tabla 5.12 se muestra el cálculo realizado para determinar el equivalente en energía de diesel y biodiésel en la mezcla y otros factores para el cálculo mencionado.

Emisiones por 1l de B20

$$= \left\{ (E_{Diesel} - E_{Biodiesel}) [TJ] * Fe_{Diesel} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{TJ} \right] \right\} + Emisiones_{ProdBD} [kg_{CO_2}]$$

Combustible	Densidad [kg/litro]	Poder calorífico [MJ/kg]	Porcentaje en un litro de B20 %	Equivalente en energía en un litro de B20 [MJ]	Factor de emisión del diesel [kg de CO <sub>2</sub> /TJ]	Emisiones de producción del biodiesel [kg de CO <sub>2</sub> /litro]
<b>Biodiesel</b>	0.887	39.26	20%	<b>6.964724</b>	--	0.1482
<b>Diesel</b>	0.85	42.03	80%	<b>28.5804</b>	74100	--

Tabla 5.12 Energía que aporta el diesel y biodiésel en un litro de B20

$$Emisiones\ por\ 1l\ de\ Diesel = 28.5804 \times 10^6 [J] * \frac{74100}{10^{12}} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{J} \right]$$

$$Emisiones\ por\ 1l\ de\ Diesel = \mathbf{2.1178} [kg_{CO_2}]$$

$$Emisiones\ por\ 1l\ de\ B20 = \left\{ ((28.5804 - 6.9647) \times 10^6 [J]) * \frac{74100}{10^{12}} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{J} \right] \right\} + 0.1482 [kg_{CO_2}]$$

$$Emisiones\ en\ 1l\ de\ B20 = \mathbf{1.7499} [kg_{CO_2}]$$

$$Emisiones\ evitadas = 2.1178 - 1.7499 = \mathbf{0.3679} [kg_{CO_2}]$$

A partir de estos datos calculados es posible realizar una matriz que muestre los resultados del costo de emisiones evitadas para los diferentes precios por litro de biodiésel calculado haciendo uso de la siguiente expresión:

$$Costo\ de\ emisiones\ evitadas = \frac{\$1\ litro_{Biodiesel} - \$10.45}{0.3697 [kg_{CO_2}]}$$

En la Tabla 5.13 se muestra el resultado de este cálculo y en la Figura 5.4 se muestra la gráfica de la tendencia que tiene este costo de acuerdo a la variación del precio por litro de biodiésel.



Precio de 1 litro de biodiésel [ $\$$ ]	Costo de emisiones evitadas [ $\$/\text{kg de CO}_2$ ]
10.27	-0.50
10.65	0.54
11.18	1.97
11.55	2.97
11.98	4.14
12.58	5.75
12.84	6.47
13.23	7.51
13.76	8.94
14.45	10.82
14.88	11.98
15.48	13.59
15.42	13.45
15.80	14.48
16.33	15.91
17.35	18.66
17.78	19.83
18.38	21.44
18.00	20.42
18.38	21.46
18.91	22.89
20.25	26.51
20.68	27.67
21.28	29.28

Tabla 5.13 Costo de emisiones evitadas para diferentes precios de biodiésel

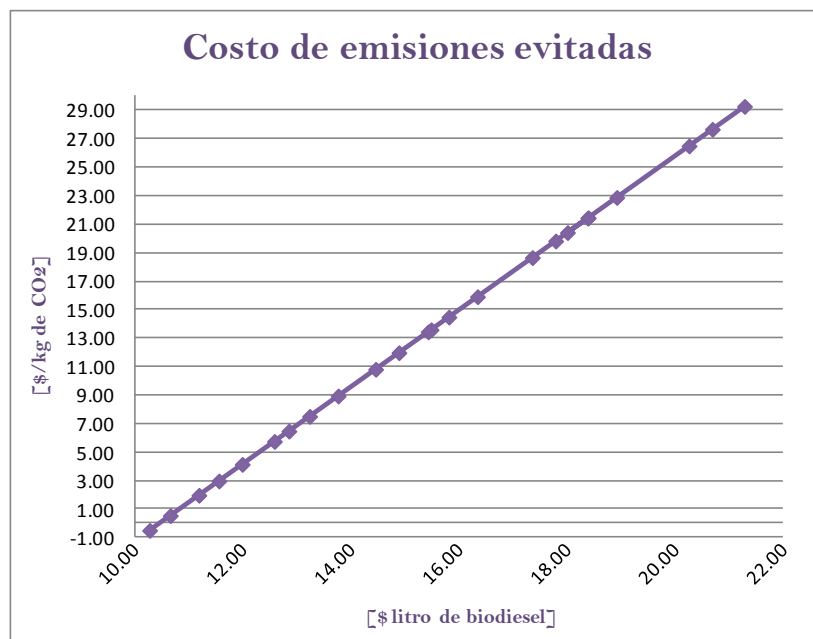


Figura 5.4 Costo de emisiones evitadas

Los resultados negativos indican que la tecnología que desplaza a la ya existente representa un ahorro, para este caso significa que usar biodiésel a un precio de \$10.27 permitiría evitar arrojar 1 kg CO<sub>2</sub> a la atmósfera con un ahorro de \$0.50 mientras el precio del diesel sea de \$10.45.

Los resultados positivos indican que habrá que pagar la cantidad señalada para lograr evitar arrojar a la atmósfera 1 kg CO<sub>2</sub>; por ejemplo si el precio de un litro de biodiésel es de \$12.58, evitar 1 kg CO<sub>2</sub> costará \$5.75.

De este análisis se concluye que para evitar emisiones de CO<sub>2</sub> se deberá invertir una cantidad por cada litro de biodiésel que se use mientras el precio del diesel sea inferior al del biodiésel.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

*6.1 Conclusiones generales*

## 6.1 Conclusiones generales

Las emisiones de GEI producidas por el consumo de combustibles fósiles están provocando el cambio climático global. Para disminuir las emisiones en el sector transporte, una de las alternativas es el uso de biocombustibles, sin embargo, al provenir en la actualidad de cultivos agrícolas puede presentar problemas de competencia por tierra y agua con la alimentación.

Una materia prima que puede ser utilizada para la producción de biodiésel es el aceite comestible usado. Además de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, tiene la virtud de disminuir los problemas ambientales causados por el desecho de este aceite en el drenaje o en los rellenos sanitarios. La generación de aceite comestible usado siempre existirá por lo que usarlo para convertirlo en biodiesel representa una solución al manejo y control de este desecho creando también un ciclo cerrado de carbono por el uso del biocombustible.

Este trabajo analizó el potencial de producción de biodiésel a partir de aceite comestible usado, utilizando los datos de una planta que ya opera en la Ciudad de México. De un análisis de dicha planta se estimó el consumo de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y costos.

Por otro lado, a partir de los datos de consumo de aceite vegetal en México y referencias internacionales del porcentaje de desecho se estimó la disponibilidad de aceite comestible usado en México. Con estos datos se calculó el potencial de disminución de CO<sub>2</sub> y los costos de producción.

Los resultados fueron los siguientes: el potencial de sustitución de diesel por biodiésel de aceite comestible usado va desde 23 a 38 [PJ] en promedio en el periodo estudiado (2011-2021) que corresponden a 660 y 1,100 millones de litros de biodiésel respectivamente dependiendo de la cantidad de aceite usado que logre recuperarse.

Esto representa una disminución de entre 3.5% y 6% en el consumo de diesel y 3.2% y 5.4% en las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional.

Para el Distrito Federal, se estimó un potencial de biodiésel basado en el número de habitantes y el consumo de aceite per cápita nacional. El resultado es que el potencial está entre 1.81 y 3.02 [PJ] que corresponden a 52 y 86 millones de litros de biodiésel, es decir que en el DF es posible producir el 8% del biodiésel a partir de esta materia prima.

Este porcentaje representaría el consumo anual de 11,874 autobuses similares a los de la empresa RTP usando B20.

El número de plantas promedio en el periodo (2011-2021) que se requerirían para cubrir este potencial es de 3,819 a nivel nacional de las cuales 300 se requeriría instalar en el DF para las cuales se generarían cerca de 80 mil empleos en el país.

El costo del litro de biodiésel producido resultó de \$7.96 si el aceite usado es gratuito, mismo que podría ofrecerse a un precio comercial de \$10.27 si se desea una ganancia del 10% y considerando un impuesto del 16%. Se obtuvieron varios posibles precios resultado de un análisis de sensibilidad que contemplan precios comerciales desde los \$10.45 hasta los \$21.28 por litro encontrándose que los precios más competitivos, es decir lo que más se acerquen al precio del diesel, serán aquellos que sin importar qué tipo de inversión se trate (pública o privada) contemplen el costo por aceite comestible usado más bajo.

La variable más significativa en el costo de producción de biodiesel es la compra y recolección de aceite debido a que cada litro obtenido es comprado y para obtenerlo es necesario realizar rutas de recolección que implican también un costo en vehículos y personal, por lo que si los generadores de este desecho se vieran obligados a depositarlo en centros de recolección controlados el costo por litro de aceite usado disminuiría y por lo tanto el precio final del litro de biodiesel también.

La gran desventaja del biodiesel es que no puede usarse sin mezcla con diesel directamente en los motores ya que algunas partes de éstos hechas de caucho pueden dañarse con el paso del tiempo, sin embargo es posible que se fabriquen motores que no presenten estos problemas con lo que se lograría reducir emisiones contaminantes en mayores volúmenes.

El mayor problema para llevar a cabo este proyecto es el de la recolección del aceite por lo que sería conveniente llevar a cabo programas de recolección de aceite usado con lo que además de lograr controlar un desecho nocivo se podría producir biodiésel a bajo costo de una fuente que no compite con la seguridad alimentaria.

## Índice de Figuras

<i>Figura</i>	<i>Título</i>	<i>Página</i>
1.1	Ciclo del CO <sub>2</sub> al quemar biodiésel	10
2.1	Escenarios propuestos por la IEA para reducir el consumo de energía del transporte	20
2.2	Distribución de la demanda de petrolíferos	21
2.3	Automóviles registrados en el país	24
2.4	Autobuses, camionetas y camiones de carga registrados en México	25
3.1	Representación esquemática del proceso de transesterificación	31
3.2	Transesterificación de triglicéridos con alcohol	39
3.3	Ecuación general de la transesterificación de un triglicérido	39
3.4	Diagrama esquemático del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite comestible usado	40
3.5	Logotipo de la empresa BioFuels de México	42
3.6	Proceso de producción de biodiésel que lleva a cabo BioFuels de México	46
4.1	Plantas oleaginosas	60
4.2	Plantas refinadoras de aceites vegetales y plantas procesadoras de semillas oleaginosas	61
4.3	Precio de los aceites vegetales y petróleo crudo 2003-2007	62
4.4	Precio de los aceites vegetales y petróleo crudo 2007-2010	62
4.5	Precios del diesel, aceite de soya y aceite de palma de enero de 2006 a noviembre de 2010	63
4.6	Aceite vegetal desechado y su proyección a 2021	70
4.7	Potencial de producción de biodiésel	72
4.8	Producción de biodiésel en México y en el DF	78
4.9	Porcentaje de de producción de biodiésel en el DF y en el resto del país	78
4.10	Autobuses RTP	80
5.1	Tendencia de consumo de diesel para transporte en México a 2021	86
5.2	Tendencia en la generación de emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de diesel para transporte	87
5.3	Porcentaje de reducción de emisiones	94
5.4	Costo de emisiones evitadas	97

## Índice de Tablas

<i>Tabla</i>	<i>Título</i>	<i>Página</i>
1.1	Relación entre emisiones de CO <sub>2</sub> y cambio climático	9
2.1	Demanda de productos petrolíferos	21
2.2	Demanda de combustibles para autotransporte en el mundo	22
2.3	Consumo de energía para transporte, BNE 2010	23
2.4	Consumo de diesel para autotransporte en México 2010	24
2.5	Emisiones de GEI en la ZMVM	26
2.6	Distribución porcentual de emisiones de GEI en la ZMVM.	26
2.7	Emisiones por combustible en la ZMVM	27
3.1	Clasificación de los biocombustibles por generaciones	29
3.2	Parámetros que califican la calidad del biodiésel	32
3.3	Parámetros de aceites vegetales para producir biodiésel de calidad	33
3.4	Propiedades del biodiésel obtenido a partir de diferentes materias primas y del diesel convencional	35
3.5	Especificaciones del biodiésel puro en la norma ASTM D6751	36
3.6	Comparación de las propiedades del diesel y biodiésel enlistadas en la ASTM D6751	36
3.7	Propiedades requeridas en el biodiésel de acuerdo a la norma EN14214	38
3.8	Etapas de la operación de BioFuels de México	48
3.9a	Costos de operación (Combustible para vehículos y Energía eléctrica para iluminación y bombeo)	49
3.9b	Costos de operación (Gas LP y Metanol e Hidróxido de Potasio)	50
3.10	Costos totales anuales de la producción de biodiésel.	53
3.11	Cálculo del costo de producción de biodiésel BioFuels de México	54
3.12	Balance de energía	55
3.13	Cálculo del Factor de emisión eléctrico para México 2010	57
3.14	Equivalencias del Factor de emisión eléctrico para México 2010	57
3.15	Emisiones de producción BioFuels de México	58
4.1	Ventas e importaciones de aceites vegetales	64
4.2	Índice de consumo de aceite vegetal por habitante en México	65
4.3	Volumen de ventas e importaciones de aceite vegetal comestible 2007 a 2021	69
4.4	Porcentaje de aceite comestible usado que puede recuperarse	70
4.5	Potencial de producción de biodiésel	71
4.6	Número de plantas posibles para producir biodiésel en el país	73
4.7	Empleos que pueden ofrecerse con la instalación de varias plantas en el país	74
4.8	Volumen de aceite vegetal que se consume en el DF	75
4.9	Potencial de producción de biodiésel en el DF a partir de	76

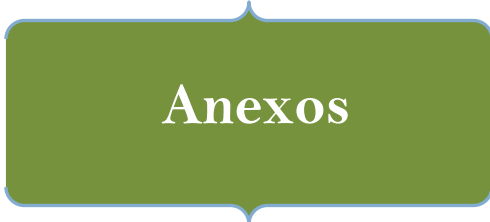
	aceite comestible usado	
4.10	Número de plantas posibles y personal requerido en el DF	77
4.11	Participación México – DF en la producción de biodiésel	77
4.12	Potencial de producción de biodiésel en toneladas anuales	79
4.13	Tecnologías a usar propuestas por la SENER para la producción de biodiésel	79
4.14	Autobuses RTP que podrían usar B20	80
4.15	Emisiones de producción de biodiésel en México (2011-2021)	81
4.16	Emisiones de producción de biodiésel en el DF (2011-2021)	82
4.17	Inversión necesaria para la instalación de plantas productoras de biodiésel en México y sólo en el DF	83
5.1	Consumo de diesel para transporte en México	85
5.2	Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de diesel para transporte en México (2007-2021)	86
5.3	Consumo Nacional de Diesel y Biodiésel necesario para B20 en litros (2007-2021)	88
5.4	Porcentaje posible en mezcla con diesel	89
5.5	Biodiésel requerido para lograr mezclas en 20% con diesel convencional a partir de fuentes diferentes al aceite comestible usado	90
5.6	Producción de biodiésel en términos de energía	91
5.7	Emisiones de CO <sub>2</sub> por uso de diesel con biodiésel para transporte	92
5.8	Emisiones del proyecto	93
5.9	Emisiones usando sólo diesel para transporte	93
5.10	Emisiones evitadas	94
5.11	Resumen análisis de sensibilidad. Precio de venta calculado de un litro de biodiésel	95
5.12	Energía que aporta el diesel y el biodiésel en un litro de B20	96
5.13	Costo de emisiones evitadas para diferentes precios de biodiésel	97



## Acrónimos

<i>Siglas</i>	<i>Inglés</i>	<i>Español</i>
ANIAME		Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C.
ASTM	American Society for Testing and Materials	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
BIE		Banco de Información Económica, INEGI
BNE		Balance Nacional de Energía
CEN		Comité Europeo de Normalización
CFE		Comisión Federal de Electricidad
CH <sub>4</sub>		Metano
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH		Etanol
CH <sub>3</sub> OH		Metanol
CO <sub>2</sub>		Dióxido de carbono
CTL	Carbon To Liquid	Carbón a Líquido
EPA	Enviromental Protection Agency	Agencia de Protección Ambiental
FFA	Free Faty Acids	Ácidos grasos libres
GEI		Gases de Efecto Invernadero
GLP		Gas Licuado de Petróleo
GTL	Gas To Liquid	Gas a Líquido
H		Hidrógeno
Hp	Horse Power	Caballo de fuerza
IEA	International Energy Agency	Agencia Internacional de Energía
IMP		Instituto Mexicano del Petróleo
INE		Instituto Nacional de Ecología
INEGI		Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
Metóxido		Metanol e Hidróxido de Potasio
NaOH		Hidróxido de Sodio
NO <sub>x</sub>		Óxidos nitrosos
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OPEP		Organización de Países Exportadores de Petróleo
PEMEX		Petróleos Mexicanos

ppm		Partes por millón
RTP		Red de Transporte de Pasajeros
SAGARPA		Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT		Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER		Secretaría de Energía
SO <sub>2</sub>		Dióxido de azufre
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático
USCUSyS		Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura



Anexos

**Anexo 1**

**Approved baseline and monitoring methodology AM0047  
“Production of biodiésel based on waste oils and/or waste fats from  
biogenic origin for use as fuel” Version 02. UNFCCC/CCNUCC**



### Approved baseline and monitoring methodology AM0047

#### “Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel”

## I. SOURCE AND APPLICABILITY

### Source

This methodology is based on the project activity “BIOLUX Benji Biodiesel Beijing Project”, proposed by BIOLUX Benji Energy and Recycling Co. Ltd, whose baseline and monitoring methodology and project design document were prepared by Clemens Plöchl Carbon Consulting.

For more information regarding the proposal and its consideration by the Executive Board please refer to case NM0180: “Production of waste cooking oil-based biodiesel for use as fuel” on <http://cdm.unfccc.int/goto/MPappmeth>.

This methodology also refers to the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”, ACM0002 “Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources”<sup>1</sup> and AMS I.D “Grid connected renewable electricity generation.”

### Selected approach from paragraph 48 of the CDM modalities and procedures

“Existing actual or historical emissions, as applicable”

### Applicability

The methodology is applicable to project activities that reduce emissions through the production, sale and consumption of blends of petrodiesel with biodiesel to be used as fuel, where the biodiesel is based on waste cooking oil and/or waste fat from biogenic origin (henceforth referred to as “waste oil/fat”). For the purpose of this methodology the following definitions apply:

- biogenic means that the oils and/or fats originate from either vegetable or animal biomass, but not from mineral (fossil) sources;
- petrodiesel is 100% fossil fuel diesel;
- biodiesel is 100% trans-esterified biofuel diesel; and,
- blended biodiesel is defined as any blending fraction of petrodiesel with biodiesel greater than 0 and smaller than 100%.

The methodology ensures that the CERs can only be issued to the producer of the biodiesel and not to the consumer.

<sup>1</sup> Please refer to: <http://cdm.unfccc.int/goto/MPappmeth>



The following conditions apply to the methodology:

#### Feedstock inputs

- a) For this specific methodology, *waste oil/fat* is defined as a residue or waste stream from restaurants, agro and food industry, slaughterhouses or related commercial sectors. Any biodiesel volumes produced by other sources must be clearly identified and a new methodology should be proposed to account for them. No CERs can be claimed under this methodology for biodiesel that is not produced from waste oil/fat.

#### Product outputs

- a) The petrodiesel, the biodiesel and their blends comply with national regulations or with suitable international standards.
- b) The by-product glycerol is not disposed of or left to decay. It should be either incinerated or used as raw material for industrial consumption.

#### Consumption of biodiesel

- a) The blended biodiesel is supplied to consumers within the host country whose existing stationary installations or vehicles, that actually combust the blend, are included in the project boundary.
- b) The consumer (end-user) of blended biodiesel in the transport sector is a captive fleet.
- c) The consumer and the producer of the blended biodiesel are bound by a contract that allows the producer to monitor the consumption of blended biodiesel and states that the consumer shall not claim CERs resulting from its consumption.
- d) No major modifications in the consumer stationary installations or in the vehicles engines are deemed necessary to consume/combust the blended biodiesel. In case of stationary installations, the blending fraction can have any value between 0 and 100%. In case of vehicles use, the blending proportion must be low enough to ensure that the technical performance characteristics of the blended biodiesel do not differ significantly from those of pure petrodiesel. The default value for the maximum allowable blending proportion is 20% by volume (B20)<sup>2</sup>. If the project participants use a blending proportion more than 20%, they shall justify in the PDD that the technical performance characteristics of the blended biodiesel do not differ significantly from those of pure petrodiesel. Blending is done by the producer, the consumer or a third party who is contractually bound to the producer to ensure that blending proportions and amounts are monitored and meet all regulatory requirements.

#### Activities for which CERs are claimed

- a) Project participants claim CERs only for the CO<sub>2</sub> emissions from petrodiesel displaced by the biodiesel.
- b) Project participants **do not** claim CERs for the following: (i) Reductions in life-cycle emissions associated with the production of displaced petrodiesel; (ii) Biodiesel consumed for non-energy purposes; (iii) Utilization of by-products such as glycerol; (iv) Avoidance of methane emissions from waste water treatment due to the reduction of waste oil in waste water

<sup>2</sup> 2004 Biodiesel Handling and Use Guidelines, U.S. Department of Energy.



## II. BASELINE METHODOLOGY

### Project boundary

The spatial extent of the project boundary encompasses:

- Transportation of waste oil/fat to the project site (e.g. road transport by vehicles);
- Biodiesel production plant at the project site, comprising the esterification unit plus other installations on the site (e.g. storage, refining, blending, etc.);
- Transportation of biodiesel to the facility where the biodiesel is blended with petrodiesel;
- Facility where the biodiesel is blended with petrodiesel; (regardless of the ownership of the blending facility)
- Transportation of the blended biodiesel to the final consumer (end-user);
- Vehicles and existing stationary combustion installations where the blended biodiesel is consumed.

Relevant emission sources within this boundary include the following (see table below for details):

- Emissions from combustion of petrodiesel and biodiesel, taking into account the fossil carbon contained in methanol used in biodiesel production;
- Emissions from fuel and electricity consumed in the production of biodiesel;
- Emissions from the transport of waste oil/fat to the biodiesel plant;
- Emissions from the transport of biodiesel to the facility where the biodiesel is blended with petrodiesel. These emissions are to be added to the project emissions only if the current distribution of the petrodiesel being displaced does not involve similar transport of fuel to a blend/distribution location.

Emissions associated with the production of methanol used for esterification are excluded from the project boundary, but are accounted for as leakage.

**Table 1: Summary of gases and sources included in the project boundary, and justification / explanation where gases and sources are not included.**

	Source	Gas	Included?	Justification / Explanation
Baseline	Vehicles and stationary combustion sources consuming petrodiesel	CO <sub>2</sub>	Yes	Main source of baseline emissions
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O emissions are assumed to be very small. No systematic difference to project activity
		N <sub>2</sub> O	No	
Project Activity	Transportation of waste oil/fat to project site	CO <sub>2</sub>	Yes	May be a significant emissions source
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. CH <sub>4</sub> emissions are assumed to be very small.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. N <sub>2</sub> O emissions are assumed to be very small.
	On site energy consumption at biodiesel production plant	CO <sub>2</sub>	Yes	May be a significant emissions source
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. CH <sub>4</sub> emissions are assumed to be very small.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. N <sub>2</sub> O emissions are assumed to be very small.
	Transportation of biodiesel to blending facility	CO <sub>2</sub>	Yes	May be a significant emissions source
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. CH <sub>4</sub> emissions are assumed to be very small.



	Source	Gas	Included?	Justification / Explanation
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. N <sub>2</sub> O emissions are assumed to be very small.
	Vehicles and stationary combustion sources consuming blended biodiesel	CO <sub>2</sub>	Yes	Fossil carbon contained in methanol used for esterification. It is a significant source of emissions. Other biodiesel carbon is climate neutral (i.e. from residual waste oil/fat)
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O emissions are assumed to be very small. No systematic difference to baseline scenario
		N <sub>2</sub> O	No	

#### Procedure for the selection of the most plausible baseline scenario

The baseline scenario should be separately determined for the following elements:

- **Production of fuels (P):** What would have happened at the production level in the absence of the CDM project activity?
- **Consumption (C):** Which fuel would have been consumed in the absence of the CDM project activity?
- **Material (M):** What would have happened to the material used as input for production of biofuel in the absence of the CDM project activity?

For the fuel production level, project participants shall identify the most likely baseline scenario among all realistic and credible alternative(s), applying steps of the latest approved version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”. Step 3 should be used to assess which of these alternatives is to be excluded from further consideration (i.e. alternatives where barriers are prohibitive or which are clearly economically unattractive) and Step 2 should be applied for all remaining alternatives. In case project proponent is a company already producing fuels other than biodiesel then only step 2 should be applied for all options identified (barrier analysis is not allowed). Where more than one credible and plausible alternative scenario remains, project participants shall, as a conservative assumption, adopt the alternative that results in the lowest baseline emissions as the most likely baseline scenario.

At the production level the realistic and credible alternative(s) may include, *inter alia*:

- P1 Continuation of current practices with no investment in biodiesel production capacity;
- P2 The project activity implemented without the CDM; and
- P3 Investment in any other alternative fuel replacing partially or totally the baseline fuel.

For the consumption of fuel, the baseline should be determined as follows:

#### Step 1: Identify all realistic and credible alternatives for the fuel used by end consumers.

Project participants should at least consider the following alternatives with respect to the intended consumer of blended biodiesel:

- C1 Continuation of petroleum diesel consumption;
- C2 Consumption of biodiesel from other producers;
- C3 Consumption of other single alternative fuel such as CNG or LPG, etc;
- C4 Consumption of a mix of above alternative fuels;





C5 Consumption of biodiesel from the proposed project plant.

**Step 2: Eliminate alternatives that are not complying with applicable laws and regulations**

Eliminate alternatives that are not in compliance with all applicable legal and regulatory requirements. Apply Sub-step 1b of the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”.

**Step 3: Eliminate alternatives that face prohibitive barriers**

Scenarios that face prohibitive barriers (e.g technical barrier) should be eliminated by applying Step 3 of the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”.

**Step 4: Compare economic attractiveness of remaining alternatives**

Compare the economic attractiveness for all the remaining alternatives by applying Step 2 of the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”. Provide all the assumptions in the CDM-PDD.

Include a sensitivity analysis applying Sub-step 2d of the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality”. If the sensitivity analysis is conclusive (for a realistic range of assumptions), then the most cost effective scenario is the baseline scenario. In case the sensitivity analysis is not fully conclusive, select the baseline scenario alternative with least emissions among the alternatives that are the most economically attractive according to the investment analysis and the sensitivity analysis.

For the material (M) level, the previous steps 1 through 4 shall be taken. Project participants should at least consider the following alternatives.

- M1 Use of material for production of biofuels (by the project proponent or by others);
- M2 Use for material production of substances other than fuel
- M3 Incineration of material for the purpose of energy recovery
- M4 Incineration of material without energy recovery
- M5 Disposal of material in an anaerobic or aerobic manner

This methodology is applicable for the baseline scenario which combines P1, C1, and any one of the M scenarios. For material scenarios M1, M2 and M3, possible leakage from the displacement of existing uses of waste oil/fat needs to be assessed, as stated in the leakage section.

**Additionality**

The additionality of the project activity shall be demonstrated and assessed using the latest version of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality” agreed by the CDM Executive Board, and available on the UNFCCC CDM web site.

Additionality is assessed only for the project activity (i.e. the construction and operation of the biodiesel plant). Additionality is established ex-ante for the duration of the crediting period, i.e. the relevant parameters are not subject to monitoring, and only need to be revalidated at the renewal of the crediting period.



Where Step 2 of the “Tool for the demonstration and assessment of additionality” (Investment Analysis) is used, the investment analysis shall include a sensitivity analysis of the biodiesel sales price, the feedstock costs and fuel costs.

#### Baseline emissions

Baseline emissions from displaced petrodiesel are determined using the following equation:

$$BE_y = BD_y \cdot CF_{PD} \cdot EF_{CO_2,PD} \cdot NCV_{PD} \quad (1)$$

Where:

- $BE_y$  = Baseline emissions during the year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)  
 $BD_y$  = Most conservative value among production of biodiesel ( $P_{BD,y}$ ), consumption of biodiesel ( $C_{BD,y}$ ) and consumption of blended biodiesel times blending fraction ( $C_{BBD,y} \cdot f_{bl}$ ). Only blended biodiesel from waste oil/fat shall be considered and that which is consumed by identified in-country consumers to substitute petrodiesel in the year  $y$  (tonnes)  
 $CF_{PD}$  = Conversion factor from biodiesel to petrodiesel (tonnes petrodiesel/tonnes biodiesel)  
 $EF_{CO_2,PD}$  = Carbon dioxide emissions factor for petrodiesel (tCO<sub>2</sub>/GJ)  
 $NCV_{PD}$  = Net calorific value of petrodiesel (GJ/tonne)

In determining emission coefficients, emission factors or net calorific values in this methodology, guidance by the 2000 IPCC Good Practice Guidance<sup>3</sup> should be followed. Project participants may either conduct regular measurements or they may use accurate and reliable local or national data where available. Where such data is not available, IPCC default emission factors<sup>4</sup> (country-specific, if available) may be used if they are deemed to reasonably represent local circumstances. All values should be chosen in a conservative manner and the choices should be justified.

The conversion factor ( $CF_{PD}$ ) shall be calculated based on the respective net calorific values of biodiesel and petrodiesel, as shown in equation (2):

$$CF_{PD} = \frac{NCV_{BD}}{NCV_{PD}} \quad (2)$$

Where:

- $CF_{PD}$  = Conversion factor from biodiesel to petrodiesel (tonnes petrodiesel/tonnes biodiesel)  
 $NCV_{BD}$  = Net calorific value of biodiesel (GJ/tonne)  
 $NCV_{PD}$  = Net calorific value of petrodiesel (GJ/tonne)

#### Project Emissions

Project activity emissions include four components:

- CO<sub>2</sub> from consumption of fuels at the biodiesel production facility;
- CO<sub>2</sub> from consumption of electricity at the biodiesel production facility;

<sup>3</sup> IPCC 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories

<sup>4</sup> IPCC 2006, Revised 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual



- CO<sub>2</sub> from combustion of fossil carbon contained in methanol that is chemically bound in the biodiesel during the esterification process, and released upon combustion;
- CO<sub>2</sub> from transport of both waste oil/fat to the project site and biodiesel from the project site where the blending takes place.

The petrodiesel fraction in the blend is excluded from the calculations.

$$PE_y = PE_{fuel,y} + PE_{elec,y} + PE_{MeOH,y} + PE_{Tr,y} \quad (3)$$

Where:

- PE<sub>y</sub> = Project emissions during the year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 PE<sub>fuel,y</sub> = Project emissions from combustion of fuels (i.e. for required steam) in biodiesel production in year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 PE<sub>elec,y</sub> = Project emissions from electricity consumption in the biodiesel plant in year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 PE<sub>MeOH,y</sub> = Project emissions from combustion of fossil fuel derived methanol in the biodiesel ester in year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 PE<sub>Tr,y</sub> = Project emissions from transport of both waste oil/fat to the project site and biodiesel to the facility where the blending takes place in year *y* (tCO<sub>2</sub>)

#### Emissions from fossil fuel consumption

Emissions from fuel consumption (i.e. for steam production) are calculated on the basis of measured consumption of heating fuel(s) on either the biodiesel production site or the site of an external supplier of steam as shown in equation (4).

$$PE_{fuel,y} = \sum_i (FC_{BDP,i,y} \times NCV_i \times EF_{CO_2,i}) \quad (4)$$

Where:

- PE<sub>fuel,y</sub> = Project emissions from combustion of fuels (i.e. for required steam) in biodiesel production in year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 FC<sub>BDP,i,y</sub> = Fuel of type *i* consumed on-site for biodiesel production in year *y* (tonnes)  
 NCV<sub>i</sub> = Net calorific value of fuel type *i* (GJ/tonne)  
 EF<sub>CO<sub>2</sub>,i</sub> = Carbon dioxide emissions factor for fuel *i* (tCO<sub>2</sub>/GJ)

#### Emissions from electricity consumption

Emissions from electricity consumption are calculated on the basis of measured electricity consumption at the biodiesel production site, as shown in equation (5).

$$PE_{elec,y} = EC_y \times EF_{CO_2,elec} \quad (5)$$

Where:

- PE<sub>elec,y</sub> = Project emissions from electricity consumption in the biodiesel plant in year *y* (tCO<sub>2</sub>)  
 EC<sub>y</sub> = Electricity consumption at project site in year *y* (MWh)  
 EF<sub>CO<sub>2</sub>,elec</sub> = Emissions factor for grid electricity (tCO<sub>2</sub>/MWh)



The emission factor ( $EF_{CO_2,elec}$ ) shall be calculated in accordance with the latest version of the following approved methodologies:

- ACM0002 shall be used if the consumption exceeds the CDM small scale thresholds as defined by the Executive Board.
- AMS I.D may be used if the consumption does not exceed the CDM small scale thresholds as defined by the Executive Board.

#### Emissions from fossil carbon content in methanol

Methanol is normally produced from natural gas, hence the carbon is fossil fuel derived. The carbon in the methanol is incorporated into the methyl ester biodiesel fuel, and is oxidized into  $CO_2$  during combustion of the fuel. The emissions from combustion of methanol are based on the measured consumption of methanol in the biodiesel plant and the mass fraction of fossil carbon in the methanol, as shown in equation (6). The methanol consumption should be net of any water content. Methanol spilled and evaporated on the project site should be considered as consumption for estimating the emissions.

$$PE_{MeOH,y} = MC_{MeOH,y} \times EF_{C,MeOH} \times \frac{44}{12} \quad (6)$$

Where:

- $PE_{MeOH,y}$  = Project emissions from combustion of fossil fuel derived methanol in the biodiesel ester in year  $y$  ( $tCO_2$ )  
 $MC_{MeOH,y}$  = Mass of methanol consumed in the biodiesel plant, including spills and evaporations in year  $y$  (tonnes)  
 $EF_{C,MeOH}$  = Carbon emissions factor of methanol, based on molecular weight ( $tC/tMeOH$ ) (= 12/32)  
 44/12 = Molecular weight ratio to convert tonnes of carbon into tonnes of  $CO_2$  ( $tCO_2/tC$ )

#### Transport Emissions

For transport emissions (to and from the biodiesel plant) project participants may choose between two different approaches to determine emissions: an approach based on distance and vehicle type (option 1) or on actual monitored vehicle fuel consumption (option 2).

Emissions from transport of biodiesel to the blending station are to be added to the project emissions only if the current distribution of the petrodiesel being displaced does not involve similar transport of fuel to a blend/distribution location.

##### Option 1:

Emissions are calculated on the basis of distance and the average truck load:

$$PE_{t,y} = \left( \frac{WOF_{t,y}}{TL_{WOF}} \times AVD_{WOF} \times EF_{km,t} \right) + \left( \frac{P_{BD,y}}{TL_{BD}} \times AVD_{BD} \times EF_{km,t} \right) \quad (7)$$

Where:

- $PE_{t,y}$  = Project emissions from transport of both waste oil/fat to the project site and biodiesel to the facility where the blending takes place in year  $y$  ( $tCO_2$ )  
 $WOF_{t,y}$  = Waste oil/fat used as biodiesel feedstock in year  $y$  (tonnes)



- $TL_{WOF}$  = Average truck load for vehicles transporting waste oil/fat (tonnes)  
 $AVD_{WOF}$  = Average distance travelled by vehicles transporting waste oil/fat (km)  
 $EF_{km,t}$  = Carbon dioxide emissions factor for vehicles transporting waste oil/fat or biodiesel (tCO<sub>2</sub>/km)  
 $P_{BD,y}$  = Quantity of biodiesel from waste oil/fat that is used by host country consumers to substitute petrodiesel in the year  $y$  (tonnes)  
 $TL_{BD}$  = Average truck load for vehicles transporting biodiesel (tonnes)  
 $AVD_{BD}$  = Average distance travelled by vehicles transporting biodiesel to the blending plant (km)

**Option 2:**

Emissions are calculated based on the actual quantity of fossil fuel consumed for transportation.

$$PE_{t,y} = \sum_i (FC_{WOF,i,y} \times NCV_i \times EF_{CO_2,i}) + \sum_i (FC_{BD,i,y} \times NCV_i \times EF_{CO_2,i}) \quad (8)$$

Where:

- $PE_{t,y}$  = Project emissions from transport of waste oil/fat to the project site and biodiesel to the facility where the blending takes place in year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)  
 $FC_{WOF,i,y}$  = Fuel consumption of type  $i$  for transporting waste oil/fat in year  $y$  (tonnes)  
 $NCV_i$  = Net calorific value of fuel type  $i$  (GJ/tonne)  
 $EF_{CO_2,i}$  = Carbon dioxide emissions factor for fuel type  $i$  (tCO<sub>2</sub>/GJ)  
 $FC_{BD,i,y}$  = Fuel consumption of type  $i$  for transport biodiesel to blending plant in year  $y$  (tonnes)



## Leakage

This methodology distinguishes two categories of leakage:

- Emissions associated with the production of the methanol used for esterification;
- Displacement of existing uses of waste oil/fat that may result in increased demand for fossil fuels elsewhere.

$$LE_y = LE_{MeOH,y} + LE_{WOF,y} \quad (9)$$

Where:

$LE_y$  = Leakage emissions in year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)

$LE_{MeOH,y}$  = Leakage emissions associated with production of methanol used in biodiesel production in year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)

$LE_{WOF,y}$  = Leakage emissions from displacement of existing utilization of waste oil/fat in year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)

### Leakage from methanol production

Emissions from production of methanol that are used in the trans-esterification process to produce the biodiesel.

$$LE_{MeOH,y} = MC_{MeOH,y} \cdot EF_{MeOH,PC} \quad (10)$$

Where:

$LE_{MeOH,y}$  = Leakage emissions associated with production of methanol used in biodiesel production in year  $y$  (tCO<sub>2</sub>)

$MC_{MeOH,y}$  = Mass of methanol consumed in the biodiesel plant, including spills and evaporation on site, in year  $y$  (tonnes)

$EF_{MeOH,PC}$  = Pre-combustion (i.e. upstream) emissions factor for methanol production (tCO<sub>2</sub>/t MeOH).

Parameters	Value	References or Sources	Vintage	Spatial level	Monitored?	Comments
$LE_{MeOH,y}$	Calculated	-	-	-	No	-
$MC_{MeOH,y}$	Obtained through monitoring	Biodiesel plant data	latest	Project specific	Yes	-
$EF_{MeOH,PC}$	Default : 1.95	Apple 1998: <a href="http://edj.net/sinor/SF/R4-99art7.html">http://edj.net/sinor/SF/R4-99art7.html</a> and 2006 IPCC Guidelines		International	Yes	



### Leakage from the displacement of existing uses of waste oil/fat

For material scenarios M1, M2 and M3, Project participants shall demonstrate that the use of the waste oil/fat by the project activity does not result in increased fossil fuel consumption elsewhere. For this purpose, project participants shall monitor the total supply of waste oil/fat used in the project plant.

Project participants shall demonstrate that there is a surplus of waste oil/fat in the region of the project activity, which is not currently recovered or used for any purpose. For the purpose of this methodology, “surplus” is defined as the quantity of available waste oil/fat produced in the region being at least 25% larger than the quantity of waste oil/fat that is recovered (e.g. for energy generation or as feedstock), including the project plant.

Project participants shall clearly define the geographical boundary of the region and document it in the CDM-PDD. In defining the geographical boundary of the region, project participants should take into account the usual distances for waste oil/fat transport. In other words, if waste oil/fat is transported up to 50 km, the region may cover a radius of 50 km around the project activity. In any case, the region should cover a radius around the project activity of at least 20 km but not more than 200 km. Once defined, the region should not be changed during the crediting period(s).

Where project participants can not demonstrate that the total quantity of waste oil/fat used by the project activity does not result in increased fossil fuel use elsewhere, a leakage penalty shall be applied. The penalty is calculated as follows: For scenario M2, this applies where the most likely substitute, taking into account common practice of the region, is derived from fossil fuel.

$$LE_{WOF,y} = WOF_{L,y} \cdot NCV_{BD} \cdot EF_{CO2,L} \quad (\text{for scenario M1 and M3}) \quad (11a)$$

$$LE_{WOF,y} = COEF_{WOF,L} \cdot WOF_{L,y} \cdot NCV_L \cdot EF_{CO2,L} \quad (\text{for scenario M2 where the substitute for substance is likely to be derived from fossil fuel}) \quad (11b)$$

Where:

- $LE_{WOF,y}$  = Leakage emissions from displacement of existing utilization of waste oil/fat in year y (tCO<sub>2</sub>)
- $WOF_{L,y}$  = Waste oil/fat that causes increased fossil fuel consumption elsewhere (tonnes)
- $NCV_{BD}$  = Net calorific value of biodiesel (GJ/tonne)
- $NCV_L$  = Net calorific value of the fossil fuel likely to substitute waste oil / fat (GJ/tonne)
- $EF_{CO2,L}$  = Carbon dioxide emissions factor of most carbon intensive fuel oil in the country (tCO<sub>2</sub>/GJ)
- $COEF_{WOF,L}$  = Coefficient of substitution of fossil fuel to waste oil / fat to produce the substance previously produced by waste oil / fat



Determination of  $WOF_{L,y}$

$$WOF_{L,y} = \begin{cases} \frac{(1.25 \times WOF_{D,y}) - WOF_{S,y}}{1.25} & \text{if } (1.25 \times WOF_{D,y}) > WOF_{S,y} \\ 0 & \text{if } (1.25 \times WOF_{D,y}) \leq WOF_{S,y} \end{cases} \quad (12)$$

with

$$WOF_{D,y} = WOF_{DS,y} + u_D$$

$$WOF_{S,y} = WOF_{SS,y} - u_S$$

Where:

- $WOF_{L,y}$  = Waste oil/fat that causes increased fossil fuel consumption elsewhere (tonnes)
- $WOF_{D,y}$  = Demand for waste oil/fat, including the project activity, in the defined region (tonnes), corrected for uncertainties associated with its determination
- $WOF_{S,y}$  = Supply of waste oil/fat in the defined region (tonnes), corrected for uncertainties associated with its determination
- $WOF_{DS,y}$  = Statistical mean value obtained from surveys or other sources for the demand for waste oil/fat, including the project activity, in the defined region (tonnes),
- $WOF_{SS,y}$  = Statistical mean value obtained from surveys or other sources for the supply of waste oil/fat in the defined region (tonnes)
- $u_D$  = Uncertainty for waste oil/fat demand (tonnes)
- $u_S$  = Uncertainty for waste oil/fat supply in the defined region (tonnes)

Methods to determine  $WOF_{D,y}$ ,  $WOF_{S,y}$  and the associated uncertainties are indicated in the monitoring methodology section below.

In the case that overall emission reductions from the project activity are negative in a given year because of the leakage penalty, CERs are not issued to project participants for the year concerned and in subsequent years, until emission reductions from subsequent years have compensated the quantity of negative emission reductions from the given year.





### Emission reductions

Emission reductions are calculated as follows:

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (13)$$

Where:

- $ER_y$  = Emission reductions during the year  $y$  (tCO<sub>2</sub>/yr)
- $BE_y$  = Baseline emissions during the year  $y$  (tCO<sub>2</sub>/yr)
- $PE_y$  = Project emissions during the year  $y$  (tCO<sub>2</sub>/yr)
- $LE_y$  = Leakage emissions during the year  $y$  (tCO<sub>2</sub>/yr)

### Changes required for methodology implementation in 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> crediting periods

No changes required. Compliance with the applicability conditions, baseline scenario (i.e. baseline fuels) and additionality all need be fully revalidated upon renewal of the crediting period.

### Data and parameters not monitored

#### Baseline Emissions

ID Number:	1
Parameter:	NCV <sub>PD</sub>
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of petrodiesel
Source of data:	2006 IPCC Guidelines for GHG Inventories.
Measurement procedures (if any):	
Any comment:	

ID Number:	2
Parameter:	EF <sub>CO<sub>2</sub>PD</sub>
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /GJ
Description:	Carbon dioxide emissions factor for petrodiesel
Source of data:	Default value may be derived from 2006 IPCC Guidelines, or from national statistics, if available.
Measurement procedures (if any):	
Any comment:	Local or national data should be preferred. Default values from the IPCC may be used alternatively.



## Project emissions

ID Number:	3
Data / Parameter:	$EF_{CO_2,i}$
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /GJ
Description:	Carbon dioxide emissions factor for fuel type <i>i</i>
Source of data:	Measurements or local / national data are preferred. Default values from the 2006 IPCC Guidelines may be used alternatively.
Measurement procedures (if any):	
Any comment:	Local or national data should be preferred. Default values from the 2006 IPCC Guidelines may be used alternatively and should be chosen in a conservative manner.

ID Number:	4
Data / Parameter:	$NCV_i$
Data unit:	GJ/tonne of fuel
Description:	Net calorific value of fuel type <i>i</i>
Source of data:	Measurements or local / national data are preferred. Default values from the 2006 IPCC Guidelines may be used alternatively.
Measurement procedures (if any):	
Any comment:	Local or national data should be preferred. Default values from the 2006 IPCC Guidelines may be used alternatively and should be chosen in a conservative manner.

## Leakage

ID Number:	5
Parameter:	$EF_{MeOH, PC}$
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /t methanol
Description:	Specific emission per tonne of produced methanol
Source of data:	Apple 1998: <a href="http://edj.net/sinor/SFR4-99art7.html">http://edj.net/sinor/SFR4-99art7.html</a> and 2006 IPCC Guidelines.
Measurement procedures (if any):	1.95 tCO <sub>2</sub> /tonne produced methanol
Any comment:	Based on 30 GJ/tonne energy requirement and average of IPCC emissions factors for natural gas and diesel oil.

ID Number:	6
Parameter:	$NCV_L$
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of the fossil fuel likely to substitute waste oil / fat
Source of data:	2006 IPCC Guidelines for GHG Inventories.
Measurement procedures (if any):	
Any comment:	Identification of the fossil fuel shall be made taking into account common practice



UNFCCC/CCNUCC



CDM – Executive Board

 AM0047/ Version 02  
 Sectoral Scope: 01 and 05  
 EB33

ID Number:	7
Data / Parameter:	$EF_{CO_2L}$
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /GJ
Description:	Carbon dioxide emission factor of the most carbon intensive fuel oil in the country
Source of data:	Reliable official data (e.g. official statistics and government publication publications).
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Annually
Any comment:	Local or national data should be preferred. Default values from the 2006 IPCC Guidelines may be used alternatively and should be chosen in a conservative manner.

ID Number:	8
Data / Parameter:	$COEF_{WOF1}$
Data unit:	Dimensionless
Description:	Carbon dioxide emission factor of the most carbon intensive fuel oil in the country
Source of data:	Reliable official or industry data (e.g. official statistics, government and industry publication publications). If such data are not existent, a default of 1 is taken.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Annually
Any comment:	Local or national data should be preferred. Identification of the fossil fuel shall be made taking into account common practice



### III. MONITORING METHODOLOGY

#### Monitoring procedures

Biodiesel production must apply national industry standards on QA/QC or, if there are no national QA/QC standards yet, apply industry standards from mature biodiesel production markets such as in Brazil, Europe or US.

#### Specific CDM related monitoring procedures

The quality manual necessary under the above mentioned QA/QC standards shall include a section describing the elements of the CDM related monitoring procedures and how to assure and control their quality. A quality management representative from the project participant shall ensure that the monitoring procedures are established and that they meet the requirements as specified in this methodology.

Monitoring the plant inputs and outputs required for calculating leakage, baseline and project emissions shall be based on a complete documented mass balance, adjusted for stock changes, covering:

- Amounts of waste oil/fat purchased and processed;
- Amounts of catalysts purchased, processed and recovered;
- Amounts of methanol purchased and processed;
- Amounts of glycerol produced and incinerated and/or sold for utilization;
- Amounts of blended biodiesel delivered to consumers and consumed.

This mass balance shall be based on a combination of purchase/sales records and records of measurements, in accordance with the measuring instruments available at the plant and stationary consumers or fuelling stations of the captive fleet owner in case of use in transport sector. The mass balance serves as a QA/QC instrument to crosscheck results of monitoring parameters as defined in the following section.

The following procedure shall be used to verify the actual amount of biodiesel from waste oil/fat that is consumed by the end user for displacement of petrodiesel and its correspondence with the produced amount of biodiesel from waste oil/fat :

- The produced amount of biodiesel from waste ~~seeking oil~~ oil/fat is recorded by a periodically calibrated metering system;
- The amount of biodiesel produced from waste oil/fat transported to the storage of the blender is recorded by a calibrated metering system at the point of filling the (road) tankers and at the point of delivery at the blender site;
- During the process of creating the biodiesel blend at the blending station, the blending operation shall be monitored to assure adequate mixing of the products in the specified proportions. This includes measuring and recording the volumes and blend levels as verified through bills of lading, meter printouts or other auditable records of both the biodiesel and diesel fuel, which comprise the blended biodiesel;



- Contractually the biodiesel producer has to monitor consumption by the consumer as follows:
  - The receiving amount of blended biodiesel in the gas station or final distributor has to be recorded by a calibrated metering system and the storage fill level is recorded by a calibrated filling level indicator;
  - The amount of the blended biodiesel filled into the installation or vehicle where combustion takes place must be recorded by a calibrated metering system;
  - If blending is done by a third party contractual arrangement shall be made, that the same monitoring procedure as described above can be applied.

#### Data Archiving

All data need to be archived electronically until two years after end of the crediting period.

#### Data and parameters monitored

#### Applicability Conditions

Data / Parameter:	$f_b$
Data unit:	%
Description:	Fraction of biodiesel in the blended biodiesel
Source of data:	Records from blending operations.
Measurement procedures (if any):	Recording volumes or flows with calibrated meters??
Monitoring frequency:	Every produced blend must be monitored.
QA/QC procedures:	During the process of creating the blended biodiesel at the blending station, the blending operation shall be monitored to assure adequate mixing of the products in the correct proportions. For automotive purposes the blending ratio must not exceed 20%. This includes measuring and recording the volumes and blend levels as verified through bills of lading, meter printouts or other auditable records of both the biodiesel and diesel fuel, which comprise the blend.
Any comment:	See "BQ-9000 Quality Assurance Program Requirements for the Biodiesel industry" for further information.

Data / Parameter:	Various parameters; Compliance of biodiesel produced with national regulations
Data unit:	Various data units
Description:	Compliance of produced biodiesel with national regulation, biofuel properties
Source of data:	Various measurements based on national or international standards.
Measurement procedures (if any):	Various methods of measurement and uncertainty analysis.
Monitoring frequency:	According to national regulation, at least annually.
QA/QC procedures:	According to national or international standards.



Data / Parameter:	$MP_{Glycer}$
Data unit:	Tonnes (t)
Description:	Amount of byproduct glycerol produced during plant operation
Source of data:	Measured (volumetric or weighed) values.
Measurement procedures (if any):	Volumetric flow meter including a volume integrator or load cell to measure the weight of produced glycerol.
Monitoring frequency:	All quantity of produced glycerol must be monitored.
QA/QC procedures:	Volumetric flow meter and integrator calibrated periodically Load cell calibrated periodically. Measured amounts to be crosschecked against mass balance of the biodiesel production unit.

Data / Parameter:	$MU_{Glycer}$
Data unit:	Tonnes (t)
Description:	Amount of byproduct glycerol sold or used.
Source of data:	Sales data and internal records in case of use inside the plant.
Measurement procedures (if any):	---
Monitoring frequency:	All produced glycerol must be tracked via sales data or internal records or its mode of disposal checked by DOE (incl. visual inspection of facilities and record of incineration or disposal if any).
QA/QC procedures:	DOE to check the produced glycerol was marketed.

#### Baseline Emissions

Data / Parameter:	$BD_y$
Data unit:	Tonnes
Description:	Most conservative value among production of biodiesel ( $P_{BD,y}$ ), consumption of biodiesel ( $C_{BD,y}$ ) and consumption of blended biodiesel times blending fraction ( $C_{BBD,y} * f_b$ ). The biodiesel from waste oil/fat alone and that consumed by identified in-country consumers to substitute petrodiesel in the year $y$ (tonnes) shall be considered for claiming CERs.
Source of data:	Metering system at production site
Measurement procedures (if any):	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
Monitoring frequency:	All produced biodiesel must be metered.
QA/QC procedures:	Cross check production and consumption data with sales records.
Any comment:	Measured for reference purposes to ensure consumption of biodiesel does not exceed production of biodiesel.



UNFCCC/CCNUCC



CDM – Executive Board

 AM0047/ Version 02  
 Sectoral Scope: 01 and 05  
 EB33

<b>Data / Parameter:</b>	$P_{BD,y}$
<b>Data unit:</b>	Tonnes
<b>Description:</b>	Quantity of produced biodiesel from waste oil/fat that is used by host country consumers to substitute for petrodiesel.
<b>Source of data:</b>	Metering system at production site.
<b>Measurement procedures (if any):</b>	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
<b>Monitoring frequency:</b>	All produced biodiesel must be metered.
<b>QA/QC procedures:</b>	Cross check production and consumption data with sales records.
<b>Any comment:</b>	Measured for reference purposes to ensure consumption of biodiesel does not exceed production of biodiesel.

<b>Data / Parameter:</b>	$C_{BD,y}$
<b>Data unit:</b>	Tonnes
<b>Description:</b>	Quantity of biodiesel from waste oil/fat consumed by host country consumers to substitute for petrodiesel.
<b>Source of data:</b>	Metering system at consumer site.
<b>Measurement procedures (if any):</b>	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
<b>Monitoring frequency:</b>	Continuous recording of filling consumers' stationary combustion installations or vehicles.
<b>QA/QC procedures:</b>	Cross check production and consumption data with sales records.
<b>Any comment:</b>	Consumption of biodiesel will be determined as the consumption of blended biodiesel times the blending fraction of the respective blend.

<b>Data / Parameter:</b>	$C_{BD,y}$
<b>Data unit:</b>	Tonnes
<b>Description:</b>	Quantity of blended biodiesel from waste oil/fat consumed by host country consumers to substitute for petrodiesel.
<b>Source of data:</b>	Metering system at fuelling stations.
<b>Measurement procedures (if any):</b>	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
<b>Monitoring frequency:</b>	Continuous recording of filling consumers' stationary combustion installations or vehicles.
<b>QA/QC procedures:</b>	Cross check production and consumption data with sales records.
<b>Any comment:</b>	



Data / Parameter:	$NCV_{BD}$
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of biodiesel.
Source of data:	Laboratory analysis.
Measurement procedures (if any):	Measured according to relevant national or international standards regulating determination of NCV by calibrated equipment.
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Check consistency of measurements and local / national data with default values by the IPCC. If the values differ significantly from IPCC default values, possibly collect additional information or conduct measurements.
Any comment:	Analysis has to be carried out by accredited laboratory. A sample is representative if uncertainty of the NCV does not exceed $\pm 5\%$ at 95% confidence level.

#### Project emissions

Data / Parameter:	$FC_{BD, i, y}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Fuel consumption of fuel type $i$ for biodiesel production.
Source of data:	Mass meters.
Measurement procedures (if any):	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
Monitoring frequency:	All consumed fuel must be metered.
QA/QC procedures:	Crosscheck fuel purchase data with average consumption for the type of vehicle provided by the manufacturer.
Any comment:	Fuel purchase data must be adjusted for stock changes. Subscript $i$ denotes different fuel types.

Data / Parameter:	$EC_y$
Data unit:	MWh
Description:	Electricity consumption at project site.
Source of data:	Electricity meter.
Measurement procedures (if any):	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
Monitoring frequency:	Continuously.
QA/QC procedures:	No specific QA/QC procedures, small impact on total emission reductions.
Any comment:	---

Data / Parameter:	$EF_{CO_2, Elc}$
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /MWh
Description:	Emission factor for grid electricity.
Source of data:	Grid supplier data, reliable official publications.
Measurement procedures (if any):	As per ACM0002 or AMS I.D, whichever is appropriate
Monitoring frequency:	Once or annually, depending on option chosen.
QA/QC procedures:	No specific QA/QC procedures, small impact on total emission reductions.
Any comment:	





Data / Parameter:	$MC_{MeOH}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Mass of methanol consumed in the biodiesel plant.
Source of data:	Mass meters.
Measurement procedures (if any):	Use calibrated measurement equipment that is maintained regularly and checked for proper functioning.
Monitoring frequency:	Continuously.
QA/QC procedures:	Crosscheck against methanol purchase receipts and calculated stoichiometric requirements.
Any comment:	Adjust for stock changes when comparing purchase data with consumption data; also used for leakage calculations. Use most conservative values. Any spills on-site and evaporation are accounted as consumption.

Data / Parameter:	$WOF_{W}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Waste oil/fat used as biodiesel feedstock.
Source of data:	Plant record, Records of truck operators.
Measurement procedures (if any):	Mass or volumetric (including quantity integrator) meters (e.g. load cell).
Monitoring frequency:	Every waste oil/fat must be monitored.
QA/QC procedures:	Crosscheck data provided by trucks delivering waste oil/fat with measured feedstock inputs at plant. Use most conservative values.
Any comment:	

Data / Parameter:	$AVD_{WOF}$
Data unit:	Km
Description:	Average distance travelled by vehicles transporting waste oil/fat .
Source of data:	Records of truck operator.
Measurement procedures (if any):	Vehicle odometer.
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Check consistency of distance records provided by the truck operators by comparing recorded distances with other information from other sources (e.g. maps).
Any comment:	If waste oil/fat is supplied from different sites, this parameter should correspond to the mean value of km travelled by trucks that supply the biodiesel plant



Data / Parameter:	AVD <sub>BD</sub>
Data unit:	Km
Description:	Average distance travelled by vehicles transporting biodiesel to the blending plant.
Source of data:	Records of truck operator.
Measurement procedures (if any):	Vehicle odometer.
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Check consistency of distance records provided by the truckers by comparing recorded distances with other information from other sources (e.g. maps).
Any comment:	If biodiesel is transported to different blending sites, this parameter should correspond to the mean value of km travelled by trucks that transport the biodiesel.

Data / Parameter:	TL <sub>WOF</sub>
Data unit:	Tonnes
Description:	Average truck load for vehicles transporting waste oil/fat .
Source of data:	Records of truck operator; plant records, vehicle manufacturer information.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Cross check against vehicle manufacturer's capacity rating.
Any comment:	

Data / Parameter:	TL <sub>BD</sub>
Data unit:	Tonnes
Description:	Average truck load for vehicles transporting biodiesel.
Source of data:	Records of truck operator; Plant records, vehicle manufacturer information.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Cross check against vehicle manufacturer's capacity rating.
Any comment:	



UNFCCC/CCNUCC



CDM – Executive Board

AM0047/ Version 02  
Sectoral Scope: 01 and 05  
EB33

Data / Parameter:	$EF_{\text{WOF}}$
Data unit:	tCO <sub>2</sub> /km
Description:	Carbon dioxide emission factor for vehicles transporting waste oil/fat and biodiesel.
Source of data:	Measurements or local / national data should be preferred. Default values from the IPCC may be used alternatively.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	Check consistency of measurements and local / national data with default values from IPCC. If the values differ significantly from IPCC default values, possibly collect additional information or conduct measurements.
Any comment:	Local or national data should be preferred. Default values from the IPCC may be used alternatively and should be chosen in a conservative manner.

Data / Parameter:	$FC_{\text{WOF},i}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Fuel consumption of fuel type <i>i</i> for transportation waste oil/fat .
Source of data:	Truck operator records.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	All consumed fuel must be metered.
QA/QC procedures:	Crosscheck fuel purchase data with average consumption for the type of vehicle provided by the manufacturer.
Any comment:	Fuel purchase data must be adjusted for stock changes. Subscript <i>i</i> denotes different fuel types.

Data / Parameter:	$FC_{\text{BD},i}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Fuel consumption of fuel type <i>i</i> for transportation of biodiesel to blending plant.
Source of data:	Truck operator records.
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	All consumed fuel must be metered.
QA/QC procedures:	Crosscheck fuel purchase data with average consumption for the type of vehicle provided by the manufacturer.
Any comment:	Fuel purchase data must be adjusted for stock changes. Subscript <i>i</i> denotes different fuel types.



## Leakage

<b>Data / Parameter:</b>	WOF <sub>DS,y</sub>
<b>Data unit:</b>	Tonnes
<b>Description:</b>	Formal and informal market demand for waste oil/fat, including the project activity, in the defined region. Statistical mean value obtained from surveys or other sources for the demand for waste oil/fat, including the project activity, in the defined region (tonnes).
<b>Source of data:</b>	Demand by the project activity is known. Other demand can be determined by: reliable official data from authorities; scientific publications; market data from waste collection companies and companies utilizing waste oil/fat; third party statistically representative surveys that shall include a list of potential uses of waste oil/fats, interviews with collection companies or companies using waste oil/fats, etc.
<b>Measurement procedures (if any):</b>	–
<b>Monitoring frequency:</b>	Annually
<b>QA/QC procedures:</b>	The calculated demand for waste oil/fat shall be based on at least 2 of the above mentioned data sources and associated uncertainties. The most conservative result considering the most conservative uncertainty limit should be adopted.
<b>Any comment:</b>	

<b>Data / Parameter:</b>	WOF <sub>SS,y</sub>
<b>Data unit:</b>	Tonnes
<b>Description:</b>	Supply for waste oil/fat in the defined region. Statistical mean value obtained from surveys or other sources for the supply of waste oil/fat in the defined region (tonnes).
<b>Source of data:</b>	Reliable official data from authorities; scientific publications; market data from waste collection companies; third party statistically representative survey that shall include oil consumption data, information about fat absorption data of cooked food, etc; compare with data from other countries.
<b>Measurement procedures (if any):</b>	–
<b>Monitoring frequency:</b>	Annually.
<b>QA/QC procedures:</b>	The calculated supply for waste oil/fat shall be based on at least 2 of the above mentioned data sources and associated uncertainties. The most conservative result considering the most conservative uncertainty limit should be adopted.
<b>Any comment:</b>	



Data / Parameter:	$u_D$
Data unit:	Tonnes
Description:	Uncertainty for waste oil/fat demand.
Source of data:	Demand by the project activity is known. Other demand can be determined by: reliable official data from authorities; scientific publications; market data from waste collection companies and companies utilizing waste oil/fat ; third party statistically representative surveys that shall include a list of potential uses of waste oil/fats, interviews with collection companies or companies using waste oil/fats, etc.
Measurement procedures (if any):	–
Monitoring frequency:	Annually
QA/QC procedures:	The calculated demand for waste oil/fat shall be based on at least 2 of the above mentioned data sources and associated uncertainties. The most conservative result considering the most conservative uncertainty limit should be adopted.
Any comment:	Surveys must be realized with a 95% confidence interval. This confidence interval corresponds to the guidelines issued by the EB in its 22nd meeting Annex 2 (EB 22 report Annex 2, D, page 3): “Methodologies employing sampling to derive parameters in estimating emissions reductions shall quantify these parameter uncertainties at the 95% confidence level”.

Data / Parameter:	$u_S$
Data unit:	Tonnes
Description:	Uncertainty for waste oil/fat demand.
Source of data:	Supply of waste oil/fat in the region defined by the project can be determined by: reliable official data from authorities; scientific publications; market data from waste collection companies and companies utilizing waste oil/fat ; third party statistically representative surveys that shall include a list of potential uses of waste oil/fats, interviews with collection companies or companies using waste oil/fats, etc.
Measurement procedures (if any):	–
Monitoring frequency:	Annually.
QA/QC procedures:	The calculated supply for waste oil/fat shall be based on at least 2 of the above mentioned data sources and associated uncertainties. The most conservative result considering the most conservative uncertainty limit should be adopted.
Any comment:	Surveys must be realized with a 95% confidence interval. This confidence interval corresponds to the guidelines issued by the EB in its 22nd meeting Annex 2 (EB 22 report Annex 2, D, page 3): “Methodologies employing sampling to derive parameters in estimating emissions reductions shall quantify these parameter uncertainties at the 95% confidence level”.

**Anexo 2**

**European Standard EN14214 Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods.  
2008**

EUROPEAN STANDARD  
 NORME EUROPÉENNE  
 EUROPÄISCHE NORM

**EN 14214**

November 2008

ICS 75.160.20

Supersedes EN 14214:2003

English Version

## Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods

Carburants pour automobiles - Esters méthyliques d'acides gras (EMAG) pour moteurs diesel - Exigences et méthodes d'essais

Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren - Anforderungen und Prüfverfahren

This European Standard was approved by CEN on 25 October 2008.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
 COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
 EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

EN 14214:2008 (E)

<b>Contents</b>	<b>Page</b>
<b>Foreword</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Scope</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Normative references</b> .....	<b>5</b>
<b>3 Sampling</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Pump marking</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Requirements and test methods</b> .....	<b>7</b>
<b>5.1 Dyes and markers</b> .....	<b>7</b>
<b>5.2 Additives</b> .....	<b>7</b>
<b>5.3 Stabilizing agents</b> .....	<b>7</b>
<b>5.4 Generally applicable requirements and related test methods</b> .....	<b>7</b>
<b>5.5 Climate dependent requirements and related test methods</b> .....	<b>9</b>
<b>5.6 Precision and dispute</b> .....	<b>9</b>
<b>Annex A (normative) Details of interlaboratory test programme</b> .....	<b>11</b>
<b>Annex B (normative) Calculation of Iodine Value</b> .....	<b>12</b>
<b>Annex C (normative) Correction factor for calculation of density of FAME</b> .....	<b>14</b>
<b>Bibliography</b> .....	<b>15</b>



## EN 14214:2008 (E)

## Foreword

This document (EN 14214:2008) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 19 "Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin", the secretariat of which is held by NEN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by May 2009, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by May 2009.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN [and/or CENELEC] shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This document supersedes EN 14214:2003.

This European Standard exists in parallel with EN 590.

Significant technical changes between this European Standard and the previous edition are:

- suitable limits and test methods on the esters, glycerides and stability characteristics of FAME resulting from EU-funded research programmes 'BIOSTAB' and 'BIOScopes' have been incorporated, although a possible replacement for iodine value is still under discussion in CEN/TC 19;
- the phosphorus limit has been lowered from 10 ppm to 4 ppm, as a first reasonable step towards meeting the needs of the latest technology engines, being a measurable amount and achievable with not too large investments by the FAME producers;
- allowance of the automatic Pensky-Martens test method as an alternative for flash point determination and a corresponding change of the limit from 120 °C to 101 °C;
- addition of a workmanship subclause (5.4.5);
- inclusion of a note referring to good house keeping via CEN/TR 15367-1;
- a note to clarify that cold flow requirements of fatty acid methyl esters (FAME) when used as an extender for diesel according to EN 590 (as set out in Table 2) do not apply;
- a general update of the revised test methods, some of them already having been included in the Technical Corrigendum to the previous version.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

EN 14214:2008 (E)

## Introduction

This European Standard gives all relevant characteristics, requirements and test methods for fatty acid methyl esters (FAME), which are known at this time to be necessary to define the product to be used as automotive diesel fuel.

Many of the test methods included in this European Standard were the subject of interlaboratory testing to determine their applicability and their precision in relation to different sources of FAME. These FAME were produced from vegetable oils available in the market at that time, i.e. rapeseed, palm, soy and sunflower oil.

Concerning total contamination, an interlaboratory study with field samples, following a study with artificial samples, is pending and therefore the repeatability and reproducibility of EN 12862 have not yet been fully established. The precision for volume percentage levels of FAME of 7, 10 and 100 will be investigated.

## 1 Scope

This European Standard specifies requirements and test methods for marketed and delivered fatty acid methyl esters (hereafter known as FAME) to be used either as automotive fuel for diesel engines at 100 % concentration, or as an extender for automotive fuel for diesel engines in accordance with the requirements of EN 590. At 100 % concentration it is applicable to fuel for use in diesel engine vehicles designed or subsequently adapted to run on 100 % FAME.

NOTE For the purposes of this European Standard, the terms “% (m/m)” and “% (V/V)” are used to represent respectively the mass fraction and the volume fraction.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

EN 116:1997, *Diesel and domestic heating fuels — Determination of cold filter plugging point*

EN 590, *Automotive fuels — Diesel — Requirements and test methods*

EN 12662:2008, *Liquid petroleum products — Determination of contamination in middle distillates*

EN 14103:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents*

EN 14104:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of acid value*

EN 14105:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of free and total glycerol and mono-, di- and triglyceride content (Reference method)*

EN 14106:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of free glycerol content*

EN 14107:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of phosphorus content by inductively coupled plasma (ICP) emission spectrometry*

EN 14108:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of sodium content by atomic absorption spectrometry*

EN 14109:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of potassium content by atomic absorption spectrometry*

EN 14110:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of methanol content*

EN 14111:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of iodine value*

EN 14112:2003, *Fat and oil derivatives — Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test)*

EN 14538:2006, *Fat and oil derivatives — Fatty acid methyl esters (FAME) — Determination of Ca, K, Mg and Na content by optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma (ICP OES)*

prEN 15751:2008, *Automotive fuels — Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel — Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method*

**EN 14214:2008 (E)**

EN ISO 2160:1998, *Petroleum products — Corrosiveness to copper — Copper strip test (ISO 2160:1998)*

EN ISO 2719:2002, *Determination of flash point — Pensky-Martens closed cup method (ISO 2719:2002)*

EN ISO 3104:1996, *Petroleum products — Transparent and opaque liquids — Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (ISO 3104:1994)*

EN ISO 3170:2004, *Petroleum liquids — Manual sampling (ISO 3170:2004)*

EN ISO 3171:1999, *Petroleum liquids — Automatic pipeline sampling (ISO 3171:1998)*

EN ISO 3675:1998, *Crude petroleum and liquid petroleum products — Laboratory determination of density or relative density — Hydrometer method (ISO 3675:1998)*

EN ISO 3679:2004, *Determination of flash point — Rapid equilibrium closed cup method (ISO 3679:2004)*

EN ISO 4259:2006, *Petroleum products — Determination and application of precision data in relation to methods of test (ISO 4259:2006)*

EN ISO 5165:1998, *Diesel fuels — Determination of ignition quality of diesel fuels — Cetane engine method (ISO 5165:1998)*

EN ISO 10370:1995, *Petroleum products — Determination of carbon residue (micro method) (ISO 10370:1993)*

EN ISO 12185:1996, *Crude petroleum and petroleum products — Determination of density — Oscillating U-tube method (ISO 12185:1996)*

EN ISO 12937:2000, *Petroleum products — Determination of water — Coulometric Karl Fisher titration method (ISO 12937:2000)*

EN ISO 13759:1996, *Petroleum products — Determination of alkyl nitrate in diesel fuels — Spectrometric method (ISO 13759:1996)*

EN ISO 20846:2004, *Petroleum products — Determination of sulfur content of automotive fuels — Ultraviolet fluorescence method (ISO 20846:2004)*

EN ISO 20884:2004, *Petroleum products — Determination of sulfur content of automotive fuels — Wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (ISO 20884:2004)*

ISO 3987:1994, *Petroleum products — Lubricating oils and additives — Determination of sulfated ash*

ASTM D 1160-06, *Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure*

**3 Sampling**

Samples shall be taken as described in EN ISO 3170 or EN ISO 3171 and/or in accordance with the requirements of national standards or regulations for the sampling of automotive diesel fuel. The national requirements shall be set out in a national annex to this European Standard, either in detail or by reference only.

In view of the sensitivity of some of the test methods referred to in this European Standard, particular attention shall be paid to compliance with any guidance on sampling containers, which is included in the test method standard.

## 4 Pump marking

Information to be marked on dispensing pumps used for delivering FAME diesel fuel, and the dimensions of the mark shall be in accordance with the requirements of national standards or regulations for the marking of pumps for automotive diesel fuel. Such requirements shall be set out in detail or shall be referred to by reference in a national annex to this European Standard.

## 5 Requirements and test methods

### 5.1 Dyes and markers

The use of dyes or markers is allowed.

### 5.2 Additives

In order to improve the performance quality, the use of additives is allowed. Suitable fuel additives without known harmful side effects are recommended in the appropriate amount, to help to avoid deterioration of driveability and emissions control durability. Other technical means with equivalent effect may also be used.

NOTE 1 Deposit forming tendency test methods suitable for routine control purposes have not yet been identified and developed.

NOTE 2 For further information on preventing contamination by water or sediment that may occur in the supply chain it is advisable to check CEN/TR 15367-1 [1].

### 5.3 Stabilizing agents

In order to improve the long term stability of FAME, it is recommended that stabilizing agents should be added to the product immediately after its production, at least before its eventual blending into a mixture with petroleum based diesel fuel.

### 5.4 Generally applicable requirements and related test methods

5.4.1 When tested by the methods indicated in Table 1, FAME shall be in accordance with the limits specified in Table 1. The test methods listed in Table 1 have been shown to be applicable to FAME in an interlaboratory test programme. Precision data from this programme are given in normative Annex A, where these were found to be different from the precision data given in the test methods for petroleum products.

5.4.2 In case of a need for identification of FAME, a recommended method based on separation and characterisation of FAME by LC/GC is EN 14331 [2].

5.4.3 In case of a need for a check upon FAME quality, iodine value of FAME may be calculated by the method presented in Annex B, but this method does not constitute an alternative to the iodine value requirement of Table 1. See also the Foreword and Introduction.

5.4.4 The limiting value for the carbon residue given in Table 1 is based on product prior to addition of ignition improver, if used. If a value exceeding the limit is obtained on finished fuel in the market, EN ISO 13759 shall be used as an indicator of the presence of a nitrate-containing compound. If an ignition improver is thus proved present, the limit value for the carbon residue of the product under test cannot be applied. The use of additives does not exempt the manufacturer from meeting the requirement of maximum 0,30 % (m/m) of carbon residue prior to addition of additives.

5.4.5 FAME fuel shall be free from any adulterant or contaminant that may render the fuel unacceptable for use in diesel engine vehicles.

## EN 14214:2008 (E)

Table 1 — Generally applicable requirements and test methods

Property	Unit	Limits		Test method <sup>a</sup> (See Clause 2)
		minimum	maximum	
FAME content <sup>a</sup>	% (m/m)	96,5 <sup>b</sup>	–	EN 14103
Density at 15 °C <sup>c</sup>	kg/m <sup>3</sup>	880	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosity at 40 °C <sup>d</sup>	mm <sup>2</sup> /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Flash point	°C	101	–	EN ISO 2719 <sup>e</sup> EN ISO 3879 <sup>f</sup>
Sulfur content	mg/kg	–	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Carbon residue (on 10 % distillation residue) <sup>g</sup>	% (m/m)	–	0,30	EN ISO 10370
Cetane number <sup>h</sup>	–	51,0	–	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% (m/m)	–	0,02	ISO 3987
Water content	mg/kg	–	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	–	24	EN 12862
Copper strip corrosion (3 h at 50 °C)	rating	class 1		EN ISO 2160
Oxidation stability, 110 °C	hours	6,0	–	prEN 15751 <sup>i</sup> EN 14112
Acid value	mg KOH/g	–	0,50	EN 14104
Iodine value	g iodine/100 g	–	120	EN 14111
Linolenic acid methyl ester	% (m/m)	–	12,0	EN 14103
Polyunsaturated (≥ 4 double bonds) methyl esters	% (m/m)	–	1	<sup>k</sup>
Methanol content	% (m/m)	–	0,20	EN 14110
Monoglyceride content	% (m/m)	–	0,80	EN 14105
Diglyceride content	% (m/m)	–	0,20	EN 14105
Triglyceride content <sup>a</sup>	% (m/m)	–	0,20	EN 14105
Free glycerol	% (m/m)	–	0,02	EN 14105 <sup>l</sup> EN 14108
Total glycerol	% (m/m)	–	0,25	EN 14105
Group I metals (Na+K)	mg/kg	–	5,0	EN 14108 <sup>l</sup> EN 14109 EN 14538
Group II metals (Ca+Mg)	mg/kg	–	5,0	EN 14538
Phosphorus content	mg/kg	–	4,0	EN 14107

<sup>a</sup> See 5.6.1.

<sup>b</sup> The addition of non-FAME components other than additives is not allowed, see 5.2. When C17-methyl esters naturally appear in FAME this can result in a lower measured fatty acid methyl ester content. In this situation reference should be made for verification to a modified determination procedure [4], until a modified method is established within CEN.

<sup>c</sup> Density may be measured by EN ISO 3675 over a range of temperatures from 20 °C to 60 °C. Temperature correction shall be made according to the formula given in Annex C. See also 5.6.2.

<sup>d</sup> If CFPP is -20 °C or lower, the viscosity shall be measured at -20 °C. The measured value shall not exceed 48 mm<sup>2</sup>/s. In this case, EN ISO 3104 is applicable without the precision data owing to non-Newtonian behaviour in a two-phase system.

<sup>e</sup> Procedure A to be applied. Only a flash point test apparatus equipped with a suitable detection device (thermal or ionization detection) shall be used. See also 5.6.2.

<sup>f</sup> A 2 ml sample and apparatus equipped with a thermal detection device shall be used.

<sup>g</sup> ASTM D 1160 shall be used to obtain the 10 % distillation residue. See also 5.3.4.

<sup>h</sup> See 5.6.3.

<sup>i</sup> See 5.6.2.

<sup>j</sup> See 5.6.2.

<sup>k</sup> A suitable test method is under development by CEN [3].

<sup>l</sup> See 5.6.2. See Annex A for precision data for sum of Na + K.

## 5.5 Climate dependent requirements and related test methods

5.5.1 For climate-dependent requirements options are given to allow for seasonal grades to be set nationally. The options are for temperate climates six CFPP (cold filter plugging point) grades and for arctic climates five different classes. Climate-dependent requirements are given in Table 2. Table 2 is divided into two sections, one for temperate climates (Table 2a) and one for arctic climates (Table 2b). When tested by the methods given in the Tables 2a and 2b, FAME "as fuel for diesel engines" shall be in accordance with the limits specified in these tables.

5.5.2 The climate-dependent requirements in Table 2 do not apply for FAME being used as a blend component in EN 590 diesel fuel.

NOTE A requirement for FAME to meet the climate-dependent requirements could result in incompatibility between the cold flow additives used in the FAME and the diesel fuel. This may compromise the performance of the finished diesel/FAME blend in respect of its low temperature operability and cause field failures as result of filter plugging in cold weather. Cold flow additives should be specifically matched to the base diesel fuel and FAME quality to ensure correct performance consistent with the requirements set out in EN 590. The choice of cold flow additive technology should be a contractual matter between the fuel blender and the biodiesel supplier taking into account the climatic-dependent requirements of the finished diesel fuel.

5.5.3 In a national annex to this European Standard each country shall detail requirements for a summer and a winter grade and may include (an) intermediate and/or regional grade(s) which shall be justified by national meteorological data.

**Table 2 — Climate-related requirements and test methods**

**Table 2a — Temperate climates**

Property	Unit	Limits						Test method <sup>a</sup>
		Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E	Grade F	
CFPP	°C, max.	+5	0	-5	-10	-15	-20	EN 116
<sup>a</sup> See also 5.6.1.								

**Table 2b — Arctic climates**

Property	Units	Limits					Test method <sup>a</sup>
		class 0	class 1	class 2	class 3	class 4	
CFPP	°C, max.	-20	-26	-32	-38	-44	EN 116
<sup>a</sup> See also 5.6.1.							

## 5.6 Precision and dispute

5.6.1 All test methods referred to in this European Standard include a precision statement according to EN ISO 4259. In cases of dispute, the procedures described in EN ISO 4259 shall be used for resolving the dispute, and interpretation of the results based on the test method precision shall be used.

However, the methods currently available for FAME content and triglyceride content, do not meet the 2R requirement of EN ISO 4259 at the limit in Table 1. At the moment revised methods are under development in a joint effort by CEN/TC 19 and CEN/TC 307.

**EN 14214:2008 (E)**

**5.6.2** In cases of dispute concerning density, EN ISO 3675 shall be used with the determination carried out at 15 °C.

In cases of dispute concerning flash point, EN ISO 3679 shall be used.

In cases of dispute concerning oxidation stability, prEN 15751 shall be used.

In cases of dispute concerning free glycerol, EN 14105 shall be used.

In cases of dispute concerning metal content, EN 14538 shall be used, as EN 14108 and EN 14109 do not meet the 2R requirements of EN ISO 4259 at the limit in Table 1.

**5.6.3** For the determination of cetane number alternative methods may also be used in cases of dispute, provided that these methods originate from a recognized method series, and have a valid precision statement, derived in accordance with EN ISO 4259, which demonstrates precision at least equal to that of the referenced method. The test result, when using an alternative method, shall also have a demonstrable relationship to the result obtained when using the reference method.



## Annex A (normative)

### Details of interlaboratory test programme

The precision data given in Table A.1 apply in the case of FAME, as far as not already indicated in the standard. In Table A.1 only those data for requirements from standardized test methods that differ from ISO/TC 28 or ASTM precision data are given. More details are available in the interlaboratory test report [5].

**Table A.1 — Precision data from interlaboratory test programme**

Property	Test method	Unit	CEN/TC 19 data for pure FAME
Viscosity at 40 °C	EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	$r = 0,001\ 1\ X$ $R = 0,018\ X$
Flash point	EN ISO 2719	°C	$r = 2,4$ $R = 11,4$
	EN ISO 3679		$r = 2,1$ $R = 11,1$
Sulfur content	EN ISO 20846	mg/kg	$r = 0,028\ 5\ X + 2$ $R = 0,108\ 8\ X + 2$
	EN ISO 20884		$r = 0,026\ X + 1,356$ $R = 0,056\ 7\ X + 1,616$
Distillation	ASTM D 1160	°C	$r = 2,0$ $R = 3,0$ (90 % distilled)
Cetane number	EN ISO 5165		$r = 2,4$ $R = 5,0$
Sulfated ash content	ISO 3987	%(m/m)	$r = 0,06\ X^{0,85}$ $R = 0,142\ X^{0,85}$
CFPP	EN 116	°C	not available
Sum of Na + K	EN 14108	mg/kg	$r = -0,017\ X + 0,512$ $R = 0,305\ X + 1,980$
	EN 14109		
where			
$r$ repeatability (EN ISO 4259);			
$R$ reproducibility (EN ISO 4259);			
$X$ mean of two results being compared.			

EN 14214:2008 (E)

## Annex B (normative)

### Calculation of Iodine Value

#### B.1 General

**NOTE** This method is adapted for biodiesel from the AOCS recommended practice Cd 1c – 85 for the determination of the iodine value of edible oil from its fatty acid composition [5].

#### B.2 Scope

This method describes a procedure for calculating the iodine value of neat biodiesel or biodiesel extracted from blends with diesel fuel. In case of dispute on the iodine value this method shall not be used as a substitute for EN 14111.

#### B.3 Principle

This method is used to calculate the iodine value expressed in g I<sub>2</sub>/100 g sample from the percentage by mass of methyl esters as determined by either EN 14103 (neat biodiesel) or EN 14331 [2] (biodiesel extracted from blends with diesel fuel).

#### B.4 Procedure

The methyl ester composition of the sample is checked using the appropriate method as described in 5.4.

**NOTE** The total methyl esters thus revealed should equal 100 after the deduction of the methyl ester C17 used for internal standard in EN 14103.

The percentage by mass thus obtained is then used to calculate the sample's iodine value, being the sum of the individual contributions of each methyl ester, obtained by multiplying the methyl ester percentage by its respective factor (Table B.1), as indicated in the example in Table B.2.

The factor for each constituent of biodiesel is given in Table B.1.

**Table B.1 — Methyl ester factors**

Methyl ester	Factor
Methyl ester of saturated fatty acids	0
Methyl hexadecenoate (Methyl palmitoleate) C16:1	0,950
Methyl octadecenoate (Methyl oleate) C18:1	0,860
Methyl octadecadienoate (Methyl linoleate) C18:2	1,732
Methyl octadecatrienoate (Methyl linoleate) C18:3	2,616
Methyl eicosenoate C20:1	0,785
Methyl docasenoate (Methyl erucate) C22:1	0,723

An example of the calculation of iodine value from the percentage by mass of methyl esters is given in Table B.2.

EN 14214:2008 (E)

Table B.2 — Calculation example

Methyl ester of the following acids	Percentage % m/m	Factor	Contribution
Myristic C14:0	0,3	0	0
Palmitic C16:0	4,0	0	0
Palmitoleic C16:1	1,1	0,950	1,0
Stearic C18:0	2,0	0	0
Oleic C18:1	60,5	0,860	52,0
Linoleic C18:2	19,8	1,732	34,3
Linolenic C18:3	9,4	2,616	24,6
Eicosanoic C20:0	0,4	0	0
Eicosenoic C20:1	0,7	0,785	0,6
Docosanoic C22:0	0,7	0	0
Docosenoic C22:1	1,1	0,723	0,8
Calculated Iodine Value			113,3

### B.5 Expression of the result

The iodine value, as calculated from the methyl ester composition, shall be expressed in g iodine /100 g. The result shall be reported to one decimal place.

NOTE 1 In 1994 the AOCS Uniform Methods Committee reviewed the coefficients used and concluded that no changes were necessary at that time. The present procedure uses the coefficients selected in the past for use in calculating the iodine value in triglyceride blends. The reasoning behind that choice is that triple the molecular weight of a methyl ester is almost identical to the molecular weight of the corresponding triglyceride.

NOTE 2 For samples with unsaponifiable content greater than 0,5 % (m/m) or those containing a significant additive content, the calculated value tends to be higher than the true value.

NOTE 3 The calculated result tends to be lower than the true value in samples with a lower iodine value.

EN 14214:2008 (E)

## Annex C (normative)

### Correction factor for calculation of density of FAME

The conversion factor for the correction of density, determined by EN ISO 3675 over a range of temperatures from 20 °C to 60 °C, to density at 15 °C is based on data published at the International Conference on Standardization and Analysis of Biodiesel, Vienna, November 1995 [8].

NOTE At the moment a DIN investigation is generating additional data.

The density of seven samples of FAME was measured by pycnometer at 6 temperatures over the range 20 °C to 60 °C. The mean correction factor over the range was calculated as 0,723 kg/(m<sup>3</sup> °C), with a standard deviation of 1,2 %. The average density of the FAME samples at 15 °C was calculated as 886,5 kg/m<sup>3</sup>.

The following equation shall be used for the calculation of density of FAME at 15 °C ( $\rho_{(15)}$ , given in kg/m<sup>3</sup>), using the density ( $\rho_{(T)}$ ) at a certain temperature ( $T$ ), determined by EN ISO 3675 over the range of temperatures from 20 °C to 60 °C:

$$\rho_{(15)} = \rho_{(T)} + 0,723(T - 15) \quad (\text{C.1})$$

EN 14214:2008 (E)

## Bibliography

- [1] CEN/TR 15367-1, *Petroleum products — Guide for good housekeeping — Part 1: Automotive diesel fuels*
- [2] EN 14331, *Liquid petroleum products — Separation and characterisation of fatty acid methyl esters (FAME) from middle distillates — Liquid chromatography (LC)/gas chromatography (GC) method*
- [3] prEN 15779, *Fats and oil derivatives — Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines — Determination of poly-unsaturated fatty acid methyl esters by gas chromatography*
- [4] S. Schober, I. Seidl and M. Mittelbach, *Ester content evaluation in biodiesel from animal fats and lauric oils*, Eur. J. Lipid Sci. Technol. 108 (2006) 309–314
- [5] CEN/TR 15160:2005, *Petroleum and related products — Applicability of diesel fuel test methods for Fatty Acid Methyl Esters (FAME) — Information and results on round robin tests*
- [6] *The Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, 5<sup>th</sup> edition, 1998, Champaign, IL, USA.
- [7] J. Rathbauer & A. Bachler, *Physical Properties of Vegetable Oil Methyl Esters*, International Conference on Standardization and Analysis of Biodiesel, November 6<sup>th</sup> – 7<sup>th</sup>, 1995, Vienna.

## Fuentes

- [1] Sheinbaum C, Briseño S, Ordóñez B, Robles G, Peña E., 2011. “Guía de metodologías y medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático”. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010\\_guia\\_metodologias\\_peacc.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia_metodologias_peacc.pdf)
- [2] IPCC, 2007: Cambio climático 2007: “Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- [3] Velarde A. “Biocombustibles”. Imagen Ciclo del co2-biodiésel. Disponible en: <http://vvaa-87.blogspot.mx/2008/12/biocombustibles-el-biodiésel.html>
- [4] IEA. *Technology Roadmap. Biofuels for Transport*. 2011
- [5] CEPAL. “Estudio regional sobre economía de los biocombustibles 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile”. 2011
- [6] “Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para Transporte en México” SENER. –BID-GTZ. 2006.
- [7] <http://elblogverde.com/un-litro-de-aceite-%C2%BFcontamina-un-millon-de-litros-de-agua/>
- [8] [http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite\\_de\\_cocina](http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite_de_cocina)
- [9] [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/Ley\\_de\\_residuos\\_DF\\_gaceta\\_220403.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/Ley_de_residuos_DF_gaceta_220403.pdf)
- [10] Maclean, H. L. and L. B. Lave. “Evaluating Automobile Fuel/Propulsion System Technologies” 2003.
- [11] International Energy Agency. “Transport, Energy and CO<sub>2</sub>”, 2009.
- [12] SENER. Balance Nacional de Energía 2010.
- [13] <http://www.sma.df.gob.mx/retrofit/>

- [14] INEGI, Banco de Información Económica. Comunicaciones y transportes/Vehículos de motor registrados en circulación. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=10900530>
- [15] Carlos Álvarez Maciel. “Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional”.
- [16] Y. Zhang, M.A. Dube, D.D. McLean, M. Kates. “Biodiésel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment” 2003.
- [17] R. Longoria Ramírez, F. Torres del Carmen, A. Uribe Escalante. “Obtención de biodiésel a partir de aceite vegetal comestible. Potencial de producción en México”. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, IIEE. Octubre 2007.
- [18] C. Strong, C. Erickson, D. Shukla. “Evaluation of Biodiesel Fuel: Literature Review” 2004
- [19] [http://www.reoil.net/pdf/reoil\\_biodiésel\\_2009.pdf](http://www.reoil.net/pdf/reoil_biodiésel_2009.pdf)
- [20] C. C. Enweremadu, M. M. Mbarawa. “Technical aspects of production and analysis of biodiésel from used cooking oil- A review” 2009
- [21] Norma Europea EN14214
- [22] [http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF\\_AM\\_LSP8N2AV76VN489R6IU72YJGTSJL9/EB33\\_repan04\\_AM0047\\_ver02\\_clean\\_web.pdf?t=YXd8bThya2EyfDBFzEe1xuYC85ZUxXRVL5GD](http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF_AM_LSP8N2AV76VN489R6IU72YJGTSJL9/EB33_repan04_AM0047_ver02_clean_web.pdf?t=YXd8bThya2EyfDBFzEe1xuYC85ZUxXRVL5GD)
- [23] BioFuels de México S. A. de C. V.
- [24] [http://www.ri.pemex.com/files/dcpe/petro/epublico\\_esp.pdf](http://www.ri.pemex.com/files/dcpe/petro/epublico_esp.pdf)
- [25] [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp?Tarifa=2&Anio=2012&mes=9](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=2&Anio=2012&mes=9)
- [26] IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories Reference manual (volume 2); 2006
- [27] Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. <http://www.aniname.com/>
- [28] <http://www.oleaginosas.org>
- [29] <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf> Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos.

[30] M. A. Plascencia Muñoz. “Estudio de factibilidad para el uso de biodiésel en el transporte interno de Ciudad Universitaria a partir de aceites comestibles de desecho, Universidad Nacional Autónoma de México. 2010”. Tesis Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2010/abril/0656207/Index.html>

[31] <http://www.reoil.net>

[32] Montefrio MJF, Obbard JP. “The Economics of Biodiesel Derived From Waste Cooking Oil in the Philippines”. *Energy Sources, Part B* 2010; 5(4): 337–347.