



# **Universidad Autónoma Metropolitana**

## **Maestría en Economía**

### **Campo de conocimiento:**

**Empresas Finanzas e Innovación**

## **Título de Idónea Comunicación de Resultados**

**“Mercado de Biodiésel en México”**

### **I.C.R. que presenta:**

**Guillermo Alva Caudillo**

**Asesora: Fabiola S. Sosa Rodríguez**

**Co-asesora: Violeta Y. Mena Cervantes**

Ciudad de México, a 13 de marzo de 2020

## Contenido

Resumen.....	5
Introducción.....	6
Capítulo 1: Biodiésel .....	10
1.1 Biodiésel .....	10
1.2 Materias Primas .....	22
1.2.1 Aceite residual (AR).....	24
1.2.2 Aceite de palma .....	25
1.2.3 Jatropha curcas .....	26
1.2.4 Microalgas .....	26
1.2.5 Sebo .....	26
1.2.6 Rendimiento de los cultivos oleaginosos y microalgas .....	27
1.2.7. Composición de ácidos grasos y porcentaje de aceite de las principales materias primas .....	29
1.3 Procesos y tecnología.....	31
1.3.1 Producción.....	31
1.3.2 Transesterificación.....	33
Conclusiones.....	43
Capítulo 2: Marco legal del biodiesel e instrumentos para su promoción.....	45
2.1 Marco jurídico.....	45
2.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	46
2.1.2 Reforma Energética .....	48
2.1.3 Ley de Transición Energética .....	52
2.1.4 Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.....	54
2.1.5 Instrumentos para la promoción de Biodiésel .....	56
2.2 Permisos para la creación de proyectos generadores de biodiésel .....	62

2.3 Normas Oficiales Mexicanas para todo proyecto relacionado con el Mercado de Biodiésel .....	70
2.2.1 Producción y almacenamiento de biodiésel .....	71
2.2.2 Transporte de biodiésel .....	73
2.2.3 Comercialización de biodiésel .....	76
Conclusiones.....	80
Capítulo 3: Elementos para la evaluación del mercado de Biodiésel .....	82
3.1 Elementos internacionales .....	82
3.2 Barreras que limitan el desarrollo del mercado del biodiésel .....	86
3.2.1 Barreras económicas .....	87
3.2.2 Barreras políticas .....	89
3.2.3 Barreras sociales .....	90
3.2.4 Barreras legales.....	91
3.2.5 Barreras ambientales.....	92
3.3 Dinamismo del mercado de diésel .....	93
3.3.1 Precios y volumen de ventas del diésel .....	94
3.3.2 Precio del diésel en estaciones de servicio .....	97
3.4 Dinamismo del mercado de biodiésel .....	99
3.4.1 Costos de producción del biodiésel .....	99
3.4.2 Dimensión del mercado: Empresas que tramitaron permisos para producir, transportar y comercializar biodiésel.....	103
3.4.3 Demanda y oferta de biodiésel .....	108
3.5 Modelo financiero.....	113
3.5.1 Balance general .....	114
3.5.2 Ventas y costos de ventas .....	117
3.5.3 Estado de resultados .....	118

3.5.4 Ratios y razones financieros.....	120
Conclusiones.....	123
Conclusiones generales .....	126
Bibliografía .....	132

## Resumen

El siguiente documento tiene como objetivo definir si en México existen los elementos suficientes para garantizar el desarrollo del Mercado de biodiésel, analizando los aspectos físico-químicos del biodiésel, los aspectos técnicos de su producción, así como el panorama legal y económico para esclarecer las áreas de oportunidad de esta joven industria.

Esta investigación presenta información adquirida de fuentes de primera mano, desde Centros de Investigación Especializados en Biodiésel hasta empresas productoras de este biocombustible.

**Palabras Clave:** Biodiésel, transesterificación, aceite residual, Reforma Energética (RE), Ley de Transición Energética (LTE), Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB).

## Introducción

La dinámica económica en todos los países del mundo ha ido acompañada del aprovechamiento de la energía, utilizando este recurso para mejorar el desempeño de la industria y los servicios, por lo que el crecimiento económico requiere del aumento de la generación de energía, en ese sentido, los recursos naturales han sido transformados para el desarrollo de la economía mundial. Ahora bien, derivado del calentamiento global y del agotamiento de los recursos, se han requerido estrategias que disminuyan los efectos del cambio climático sin desmotivar o desacelerar la dinámica global, por ello propuestas como el biodiésel promueven la paulatina sustitución de los petrolíferos por alternativas más amables con el ambiente.

El biodiesel es un biocombustible derivado de aceite vegetal, el cual ha generado no sólo una propuesta de mitigación de emisiones contaminantes, sino también, una oportunidad para diversificar la matriz energética y satisfacer la demanda de combustible. Durante 2019 se elaboraron 35 mil millones de litros de biodiesel, donde la participación mayoritaria fue ocupada por Estados Unidos, Brasil, Indonesia, Alemania, Francia y Argentina,

América Latina se ha caracterizado por ser una región especializada en la producción agrícola, la mayoría de los países que integran esta región poseen una estructura para la exportación de este tipo de bienes. Argentina y Brasil han diseñado una estrategia agro-energética con el objetivo de cubrir la demanda interna de energía y promover la exportación de biodiésel, creando una industria competitiva, incentivando el empleo calificado y sobre todo impulsando el crecimiento económico. En la actualidad la producción de biodiésel está orientada al consumo interno, por lo que a pesar de existir un mercado global de biodiésel, la cantidad que se comercia en todo el mundo es por mucho, menor a la cantidad que se consume al interior de los países productores, no obstante, los avances tecnológicos y la influencia de investigadores internacionales especializados en el tema, han generado expectativas positivas por el potencial de un mercado

internacional de biodiésel, de manera que los países que hasta hoy han invertido en el desarrollo de la industria del biodiesel se verán beneficiadas en un futuro cercano.

Bajo este contexto, es pertinente preguntarse si hoy en día existen los requerimientos tecnológicos, legales y económicos para asegurar la inversión en proyectos de promoción para la producción y comercialización de biodiésel en México, ya que es necesario impulsar la transición energética hacia alternativas más limpias y renovables, por lo que el uso de biodiésel en motores de combustión interna se presenta como un potencial producto para satisfacer la demanda de combustible fósil y disminuir las emisiones contaminantes en el ambiente.

Esta Idónea Comunicación de Resultados se basó en las especificaciones técnicas más recientes sobre transesterificación y procesos de generación de biodiésel, se examinó el marco legal instaurado en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como las publicaciones en el Diario Oficial de la Federación de acuerdo a las secretarías implicadas como: SENER (Secretaría de Energía), SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público), SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), además de las instituciones relacionadas. Realizamos la evaluación del mercado de biodiésel desde una perspectiva de las ciencias económicas, apoyándonos fundamentalmente en aspectos sociales, políticos y económicos.

Con el objetivo de tener una mejor perspectiva sobre el mercado de biodiesel, el marco metodológico de esta Idónea Comunicación de Resultados está apoyado en el resultado de una estancia de investigación en el Centro Mexicano de Producción más Limpia del Instituto Politécnico Nacional, donde se participó en prácticas de laboratorio y producción de biodiésel, además de contar con el apoyo científico de los investigadores especializados en materia de biodiésel. Por otro lado el marco metodológico financiero utilizado para la gestión de actividades empresariales fue utilizado para el diseño de un modelo financiero fundamentado en; la elaboración del balance general, cálculo de vetas y costes, estado de resultados y así como algunos indicadores financieros.

En el primer capítulo, se define qué es biodiésel, sus características fisicoquímicas del biodiésel de acuerdo con la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés), y sus beneficios. Asimismo, se examinan algunas fuentes de materia prima como el aceite residual, grasas animales y aceite vegetal, destacando las propiedades que de acuerdo con su estructura química determinan la materia prima más efectiva para la producción del biodiésel. De igual forma, se explica cada una de las técnicas utilizadas para la elaboración de biodiésel, detallando los pasos para su proceso productivo.

En el capítulo segundo, se examina el marco legal para la promoción del biodiésel, ya que, durante los últimos años, han existido lineamientos jurídicos que buscan impulsar la inversión en energías renovables. Para ello, es necesario esclarecer las leyes y normas que guarde relación con el desarrollo del mercado de biodiésel. También, se indican cuáles son los permisos y requerimientos que cualquier inversionista interesado debe seguir para producir, distribuir y/o comercializar este biocombustible.

El capítulo tercero hace mención de los elementos necesarios para evaluar el mercado de biodiésel, por lo que se identifican las barreras económicas, legales, políticas, sociales y ambientales, con el objetivo de generar propuestas para su eliminación. Por otro lado, los costos de producción del biocombustible se estimaron con base en la información que se obtuvo mediante entrevistas a empresas productoras de biodiésel en México, en aras de contar con elementos financieros que permitan discernir si es conveniente invertir en este producto energético.

En México existen los mecanismos técnicos, legales y económicos que permiten que la producción de biodiesel sea rentable, ya que se cuenta con la tecnología que permite producir este energético con costos atractivos y procesos eficientes, sin embargo, el mayor problema corresponde a la disponibilidad de materia prima, ya que en la actualidad no existen programas eficientes que garanticen la cobertura de semillas para elaborar aceite puro, dificultando la oferta del biodiésel. Con respecto a los mecanismos legales, se cuentan con los instrumentos básicos que norman la producción y sus permisos, pero no se cuenta con los instrumentos legales para



normar el mezclado y su comercialización al público en general, aunque si existen dichos mecanismos para su autoconsumo por parte de la industria. En el caso de los mecanismos económicos, de utilizarse la materia prima adecuada, los precios del biodiésel son competitivos con respecto al diésel, sin embargo, es necesario considerar otro tipo de incentivos económicos que permitan crear mejores condiciones de mercado para este combustible de transición, ya que también existen barreras de tipo social, político y ambiental que dificultan el desarrollo de un mercado de biodiésel estable en México, por lo que los riesgos para la inversión en este producto podrían ser en su momento altos. De considerarse una mejor y mayor gestión por parte del gobierno federal estamos seguros que este mercado repuntará y aportará beneficios económicos, sociales y ambientales a nivel nacional.

## Capítulo 1: Biodiésel

### 1.1 Biodiésel

El biodiésel es un combustible líquido compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, los cuales son obtenidos de distintas materias primas naturales y renovables (biomasa), como grasas animales, aceite vegetal, o bien, aceite de residuos de cocina (Kessel, 2009). Es posible producir biodiésel a partir de distintas fuentes de materia prima oleoquímica como el aceite vegetal, la grasa animal, aceite de algas o bien, por medio de aceite residual (AR). Si la biomasa se compone por triglicéridos, ésta se convierte en una fuente potencial para la producción de biodiésel (Rincón et al., 2014).

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ , casi cero emisiones CO y azufre), la disminución de la dependencia de combustibles fósiles y su capacidad para reutilizar AR son algunas de las ventajas del biodiésel, además es biodegradable por lo que no contiene elementos tóxicos, haciendo que su combustión sea más limpia (Khan, 2002). Si se considera generar una gran industria para la producción de biocombustibles, no sólo se podría disminuir la contaminación, igualmente se promovería el desarrollo tecnológico, el empleo ampliamente calificado, y por supuesto, la autosuficiencia energética (Da Costa et al., 2007).

La American Society for Testing and Materials (ASTM), la British Standards Institution (BSI), el Deutsches Institut für Normung (DIN), los European Standards (EN), y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), entre otras, son algunas de las organizaciones internacionales dedicadas a establecer estándares de calidad y definición de normas para una extensa gama de materiales, productos, sistemas y servicios, utilizados por la industria. El diésel y el biodiésel han sido analizados por la ASTM para asegurar su correcta aplicación, de manera que al cumplir las normas establecidas por la ASTM -o sus similares, el productor tanto de diésel como de biodiésel deben asegurarse de cumplir estos lineamientos para ofrecer su producto en el mercado.

En cuanto a las propiedades del biodiésel, varias de éstas son similares al diésel, por lo que éste combustible se perfila como un producto potencial para sustituir parcial o totalmente al diésel en motores de ignición por compresión, ya que es posible realizar una mezcla entre diésel de petróleo y biodiesel en cualquier proporción de acuerdo a la normatividad de cada país, de esta forma es posible generar un compuesto estable de biodiesel (Fukuda et al., 2001).

Como se mencionó, el biodiesel puede elaborarse para adicionarlo proporcionalmente al combustible fósil, de manera que existen mezclas de diésel y biodiésel en distintas magnitudes, es decir, la mezcla puede constituirse entre un 80% diésel y 20% biodiésel, esta mezcla es denominada por las instituciones acreditadas como B20.

Por otro lado, es posible utilizar el biodiésel en un 100% conocido como B100, el contenido de dicha sustancia es completamente biodiésel, por lo que el componente B100 es un sustituto perfecto del diésel, mientras que la mezcla B20 podría considerarse como un sustituto relativo. De acuerdo con la ASTM (2003), hoy día las máquinas modernas que funcionan con diésel pueden desempeñarse en óptimas condiciones al utilizar la mezcla B20 sin la necesidad de hacer modificaciones mecánicas, por lo que el motor funcionará sin dificultad y su rendimiento será idéntico si se utilizara el diésel, a esta característica la ASTM la ha denominado “drop in fuel”, siempre que el producto B20 cumpla con las normas de la ASTM.

Al iniciar con la fabricación del biodiesel puro (B100) o cuando se mezcla proporcionalmente con diésel convencional (B20), es necesario revisar sus propiedades para corroborar la calidad del producto final en un ensayo de laboratorio mediante el cual se verifican sus propiedades de acuerdo con la norma ASTM D6751. Según Abbaszaadeh et al. (2012), las propiedades del biodiésel que deben considerarse para el uso adecuado del B100 pueden clasificarse de la siguiente manera:

- i) Antiespumante: Esta cualidad asegura el rápido llenado del tanque de cada vehículo, además de evitar los derrames y salida de espuma. Si se tratase de biodiesel puro (B100) éste garantiza mejores propiedades que su homónimo fósil.
- ii) Conductividad: El biodiesel presenta una excelente conductividad, debido a su polaridad, por lo que disminuye el peligro de chispas e incendios, básicamente la conductividad del biodiesel puro es superior a 500 pico S/m.
- iii) Contenido de oxígeno: El éster que genera una combustión más suave disminuye la cantidad de energía y provoca la polaridad del biodiesel, derivado del enlace de hidrógeno del hidroxilo (-OH), por lo que el biodiesel contiene en promedio un 11% de oxígeno. La polaridad le otorga capacidad de humectación (lubrica y se adhiere a los metales), detergencia, solvencia y conductividad. Por otro lado, el diésel no contiene oxígeno y presenta menores valores en estas propiedades.
- iv) Corrosión: La filtración de agua aunado a la presencia de oxígeno potencian la corrosión, sin embargo, esto puede ser combatido con la correcta lubricación, disminuyendo la entrada de oxígeno a las superficies metálicas. La prueba de corrosión del cobre se ocupa de localizar compuestos de azufre nocivos para los metales amarillos. El biodiesel posee la cualidad de evitar las formas corrosivas del azufre, por otro lado, el diésel cumple con los límites de especificación fácilmente.
- v) Estructura química: El diésel es una mezcla de un amplio grupo de hidrocarburos de C12 a C25, el cual está integrado por naftenos, parafinas, compuestos aromáticos, además de una variedad de sustancias orgánicas que contienen azufre y nitrógeno. Por otro lado, el biodiesel está compuesto por una variedad de moléculas, básicamente ésteres de ácidos grasos de C12, C14, C16, C18 y C22. Todo biodiesel es considerado monoalquil éster de hidrocarburos de cadena lineal.
- vi) Número de cetano (índice de cetano): Está relacionado con el tiempo necesario para conseguir la ignición y la calidad de combustión, por lo que mientras más elevado sea el número de cetano, menor será la ignición no

controlada y mayor la calidad de combustión. El índice de cetano del biodiesel está ligado a la distribución de ácidos grasos en aceites, de manera que los ácidos grasos más saturados y largos otorgan un mayor índice de cetano. Para el biodiesel normalmente el número de cetano se encuentra entre 45 y 70, en contraste con el combustible fósil que oscila entre 40 y 52.

vii) Filtrado en frío: Las bajas temperaturas provocan la cristalización de los aceites, por lo que la solidificación del diésel y el biodiesel bajo la influencia de bajas temperaturas altera su eficiencia. Si se tratase de biodiesel puro, al ser una mezcla que contenga pocos compuestos, la cristalización es acelerada. Sobre el diésel, cada uno de sus compuestos tiene distintas temperaturas de solidificación, de manera que la cristalización es gradual y menos acelerada que la del biodiesel.

Las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3, muestran los parámetros que deben cumplirse para alcanzar los estándares de calidad de la ASTM de acuerdo con las normas: D975-04 para diésel, D7467-13 para mezclas de biodiésel B6 a B 20 y D6751-15c para biodiésel puro B100.

**Tabla 1.1 Requisitos para aceites de combustible diésel**

Propiedad	Método	Grados							Unidad de medida
		No. 1-D S15	No. 1-D S500	No. 1-D S5000	No. 2-D S15	No. 2-D S500	No. 2-D S5000	No. 4-D	
Punto de inflamación (copa cerrada)	D93	38 min	38 min	38 min	52 min	52 min	52 min	55 min	°C
Agua y sedimento	D2709	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	% vol
Viscosidad cinemática	D445	1.3-2.4	1.3-2.4	1.3-2.4	1.9-4.1	1.9-4.1	1.9-4.1	5.5-24	mm <sup>2</sup> /s
Corrosión	D130	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3	...	
Número de cetano	D613	40 min	40 min	40 min	40 min	40 min	40 min	30 min	
Punto de nube	D2500	*	*	*	*	*	*	*	°C
Residuo de carbono	D4530								% masa
Número de ácido	D664								mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	...	...	...	...	...	...	...	% masa

<b>Glicerina Total</b>	D6584	...	...	...	...	...	...	...	% masa
	D5453	15	...	...	15	...	...	...	ppm (µg/g)
<b>Azufre</b>	D2622	...	0.05	...	...	0.05	...	...	% masa
	D129	...	...	0.5	...	...	0.5	2	% masa

*Grado No. 1-D S15: un combustible destilado medio ligero de uso especial para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 15 ppm de azufre (máximo). Grado No. 1-D S500: Combustible de destilado medio ligero de uso especial para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 500 ppm de azufre (máximo). Grado No. 1-D S5000: un combustible destilado medio ligero de uso especial para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 5000 ppm de azufre (máximo). Grado No. 2-D S15: un combustible de uso general, destilado medio para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 15 ppm de azufre (máximo). Grado No. 2-D S500: Un combustible de uso general, destilado medio para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 500 ppm de azufre (máximo). Grado No. 2-D S5000: un combustible de uso general, destilado medio para uso en aplicaciones de motores diésel que requieren un combustible con 5000 ppm de azufre (máximo). Grado No. 4-D: un combustible pesado destilado, o una mezcla de aceite destilado y residual, para uso en motores diésel de baja y media velocidad en aplicaciones que involucran una velocidad y carga predominantemente constantes.*

\*: No es realista especificar propiedades de baja temperatura que aseguren un funcionamiento satisfactorio en todas las condiciones ambientales.

Fuente: ASTM International. Standard Specification for Diesel Fuel Oils.

**Tabla 1.2: Requisitos para mezclas de biodiésel B6 a B20**

Propiedad	Método	Grados			Unidad
		B6 a B20 S15	B6 a B20 S500	B6 a B20 S5000	
Punto de inflamación (copa cerrada)	D93	52 min	52 min	52 min	°C
Agua y sedimento	D2709	0.05 max	0.05 max	0.05 max	% vol
Viscosidad cinemática	D445	1.9-4.1	1.9-4.1	1.9-4.1	mm <sup>2</sup> /s
Corrosión	D130	No 3 max	No 3 max	No 3 max	
Número de cetano	D613	40 min	40 min	40 min	
Punto de nube	D2500	*	*	*	°C
Residuo de carbono	D4530	0.35 max	0.35 max	0.35 max	% masa
Número de ácido	D664	0.3 max	0.3 max	0.3 max	mg KOH/g
Glicerina libre	D6584				% masa
Glicerina Total	D6584				% masa
Azufre	D5453	15	...	...	ppm (µg/g)
	D2622	...	0.05		% masa
	D129	...	...	0.5	% masa

Los grados de azufre del combustible se describen a continuación:

Grado B6 a B20 S15: combustible con un máximo de 15 ppm de azufre. Grado B6 a B20 S500: un combustible con un máximo de 500 ppm de azufre. Grado B6 a B20 S5000: un combustible con un máximo de 5000 ppm de azufre.

\*: No es realista especificar propiedades de baja temperatura que aseguren un funcionamiento satisfactorio en todas las condiciones ambientales.

Fuente: ASTM International. Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20).



**Tabla 1.3: Requisitos para la mezcla de biodiésel B100**

Propiedad	Método	Grados				Unidad de medida
		No. 1-B S15	No. 1-B S500	No. 2-B S15	No. 2-B S500	
Punto de inflamación (copa cerrada)	D93	93 min	93 min	93 min	93 min	°C
Agua y sedimento	D2709	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	% vol
Viscosidad cinemática	D445	1.9–6.0	1.9–6.0	1.9–6.0	1.9–6.0	mm <sup>2</sup> /s
Corrosión	D130	No 3 max	No 3 max	No 3 max	No 3 max	
Número de cetano	D613	47 min	47 min	47 min	47 min	
Punto de nube	D2500	*	*	*	*	°C
Residuo de carbono	D4530	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max	% masa
Número de ácido	D664	0.50 max	0.50 max	0.50 max	0.50 max	mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	0.02	0.02	0.02	0.02	% masa
Glicerina Total	D6584	0.24	0.24	0.24	0.24	% masa
Azufre	D5453	0.0015 (15)	0.05 (500)	0.0015 (15)	0.05 (500)	% masa (ppm)
	D2622	...	...	...	...	% masa
	D129	...	...	...	...	% masa

Grado No. 1-B S15: una mezcla de biodiesel de propósito especial diseñada para su uso en aplicaciones de combustible de destilado medio que puede ser sensible a la presencia de glicéridos parcialmente reaccionados, incluidas aquellas aplicaciones que requieren una buena operatividad a baja temperatura, y que también requieren un componente de mezcla de combustible con 15 ppm de azufre (máximo). Grado No. 1-B S500: una mezcla de biodiesel de propósito especial diseñada para uso en aplicaciones de combustible de destilado medio que puede ser sensible a la presencia de glicéridos parcialmente reaccionados, incluidas aquellas aplicaciones que requieren una buena operatividad a baja temperatura, y que también requieren un componente de mezcla

de combustible con 500 ppm de azufre (máximo). Grado No. 2-B S15: una mezcla de biodiesel de uso general diseñada para aplicaciones de combustible de destilados medios que requieren un componente de mezcla de combustible con 15 ppm de azufre (máximo). Grado No. 2-B S500: una mezcla de biodiesel de uso general diseñada para aplicaciones de combustible de destilado medio que requiere un componente de mezcla de combustible con 500 ppm de azufre (máximo).

\*: No es realista especificar propiedades de baja temperatura que aseguren un funcionamiento satisfactorio en todas las condiciones ambientales.

Fuente: ASTM International. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.

Al comparar las tres Tablas, se identifica que el diésel tiene el punto de inflamación más alto en todos los grados de este combustible, sin embargo, el punto de inflamación de las mezclas B6 a B20, en todos sus grados, es el mismo al diésel de grado No. 2-D, por lo que el biodiésel puro comprueba ser el compuesto más seguro con un punto de inflamación hasta los 93 minutos.

El análisis de agua y sedimentos somete a los combustibles a centrifugación. En esta prueba los resultados indican que para los tres componentes el resultado debe ser el mismo (0.05 % del volumen), implicando que la mezcla B6 a -B20 no debe mostrar elementos de materia suspendida, sedimentos, o bien, agua disuelta, asegurando la calidad del biocombustible (ASTM, 2003).

La viscosidad puede disminuir la calidad de la automatización del combustible provocando combustión incompleta y formación de depósitos en los inyectores del motor, si los niveles son elevados. Cuando la viscosidad es la adecuada para el motor, ésta mejora el empuje de la bomba de inyección. Comúnmente el biodiésel presenta una mayor viscosidad que el diésel, sin embargo, la viscosidad está acompañada de lubricidad (loc. cit), por lo que el biodiésel será un mejor lubricante que el diésel

En cuanto a la corrosión, la ASTM ha determinado que mientras se elaboren los tres tipos de combustibles mostrados en las tablas de acuerdo a sus estándares de calidad, cada combustible tendrá el mismo nivel máximo de corrosión, por lo que las piezas de cobre del motor estarán sometidas a la misma corrosión en los tres combustibles (Ibídem).

Sobre el número de cetano, se explicó en párrafos anteriores la importancia de esta propiedad, por lo que las tablas nos indican que el B100 es el combustible con mejores resultados para los diferentes grados de éste. Es necesario recordar que los ácidos grasos más saturados y largos otorgan un mayor número de cetano.

El residuo de carbono identifica el carbono residual de la muestra que es sometida a calentamiento en atmósfera de nitrógeno presentando volatilización, y posteriormente pirolisis. Esta prueba ayuda a seleccionar la materia prima necesaria para elaborar el biodiésel, ya que identifica qué insumos generan menores depósitos de carbono en el tanque de combustible, mejorando la eficiencia del motor y su cuidado (ASTM, 2003).

La prueba de azufre indica que el combustible B100 emite la menor cantidad de este elemento químico, por lo que el biodiésel puro garantiza una disminución de las emisiones contaminantes de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Por otro lado, a pesar de que las mezclas B6 a B20 presentan azufre en su composición, éste es menor al volumen ocupado por el combustible fósil, de manera que el uso de la combinación diésel-biodiésel también disminuye la presencia de azufre en el ambiente; adicionalmente es preferible realizar la mezcla de biodiésel con diésel fósil de ultra bajo azufre (loc. cit.).

Es evidente que, las pruebas hechas por la ASTM nos indican las distintas virtudes del uso del biodiesel. Sin embargo, algunas de las propiedades del biodiesel aún son superadas por el combustible fósil. En este sentido, las desventajas que el biodiésel presenta se manifiestan en al menos 5 puntos principales (Véase Tabla 1.4):

- 1) El biodiésel produce menos energía que el diésel, ya que la potencia y torque del motor se ven disminuidas, mientras menor presencia de combustible fósil se utilice en la mezcla, menor será su energía. El biodiesel contiene 8% menos energía por galón que el diésel comercial, 12.5% menos energía por libra. Este punto es explicado debido al poder calorífico del biodiésel, por lo que proporciona menor energía al motor (Abbaszaadeh et al., 2012).

- 2) En la exposición a temperaturas bajas, el biodiésel podría solidificarse y formar depósitos en el sistema de inyección cuando provenga de grasas y no de aceites (excepto palma) (Ma & Hanna, 1999).
- 3) Se necesita garantizar la dotación suficiente de materia prima para la producción de biodiesel, ya que es posible que existan problemas de abastecimiento (Abbaszaadeh et al., 2012).
- 4) El biodiésel genera glicerina, por lo que es necesario obtener grandes cantidades de agua saturada en CO<sub>2</sub> para su correcta purificación (loc. cit).
- 5) El periodo de almacenamiento es inferior a seis meses si no se aditiva con biocidas o con antioxidantes. (Ma & Hanna, 1999).

Por otro lado, las ventajas que se han identificado con respecto a este biocombustible son favorecedoras, por lo que destacaremos los aspectos relevantes y convenientes derivados del uso del biodiésel (Véase Tabla 1.4):

- 1) Es una fuente renovable de energía, por lo que su huella de carbono (CO<sub>2</sub>), se considera generalmente neutra o negativa (Doménech, 2007)
- 2) Reducción de: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). De acuerdo con estudios de la EPA, la mezcla B20 registra 3% de NO<sub>x</sub>, 0% en CO<sub>2</sub>, -10% en PM y CO y -20% en HC, por otro lado, para B100: Nox 10%, CO<sub>2</sub> 0%, MP y CO -48% y HC -67% (Marticonera et al., 2016)
- 3) Mayor punto de ignición (lo cual reduce el peligro de explosiones) (ASTM, 2003).
- 4) Es una sustancia que presenta menor riesgo de contaminación por derrames o fugas ya que su biodegradabilidad es mayor que la del diesel fósil (loc. cit).
- 5) Alto número de cetano en comparación al diésel (Ibídem).
- 6) Su mayor lubricidad mejora el funcionamiento de la bomba de inyección y el circuito de alimentación (Tejeda et al., 2010).
- 7) De cumplirse con los estándares de calidad de la ASTM, no se requiere modificar los motores diésel, siempre y cuando éste sea una mezcla B6 a B20 (ASTM, 2003).

- 8) El transporte y almacenamiento del biodiésel es más seguro (Aracil, 2006).
- 9) Es un producto viable para reutilizar aceite usado, o bien, para apoyar el crecimiento del sector agrícola si el insumo para fabricar biodiesel proviene del cultivo de oleaginosas (Araya , 2009).
- 10) Los proyectos de inversión asociados a la creación de una biorefinería incentivan la creación de empleos de alto nivel (loc. cit).

**Tabla 1.4 Ventajas y desventajas del biodiésel**

Ventajas	Desventajas
Fuente renovable de energía con huella de carbono neutra	Produce menor energía que el diésel
Reducción de emisiones contaminantes	En temperaturas bajas podría solidificarse.
Menor peligro de explosión	No hay suficiente dotación de materia prima
Menor riesgo de contaminación por derrames	Uso de grandes cantidades de agua saturada en CO <sub>2</sub>
Mejor ignición con respecto al diésel	Periodo de almacenamiento menor a 6 meses.
Mejora el desempeño de la bomba de inyección	
No se requiere hacer modificaciones a los motores	
Transporte y almacenamiento seguro	
Favorece el desarrollo del sector agrícola	
Promueve la creación de empleos calificados	

Fuentes: Elaboración propia con información de Doménech, (2007), Marticorena et al., (2009), Tejeda et al., (2010), Aracil, (2006), Araya (2009).

Entendemos que las desventajas pueden hacer eco en la aceptación del consumidor, sin embargo, han existido avances científicos y tecnológicos significativos para minimizar o eliminar las ventajas técnicas del biodiésel, por ello, nos encontramos optimistas con respecto a la mejora técnica del biodiésel, puesto que este producto ha sido investigado y desarrollado en menor medida que el diésel, y sin embargo, sus avances y ventajas cumplirán con el objetivo de participar rumbo

a la transición energético y la promoción de fuentes renovables de combustible. Bajo esta premisa continuaremos definiendo los elementos que participan en la fabricación del biodiésel, por lo que será necesarios establecer cuáles son las fuentes principales de materia prima.

## 1.2 Materias Primas

Los aceites vegetales comestibles son el insumo más popular para la elaboración de biodiésel. Argentina y Estados Unidos utilizan aceite de soja; en Europa el aceite de colza es popular entre varios países; y por otro lado, Colombia, Indonesia, Malasia y Nigeria prefieren el aceite de palma, sobre todo por la influencia del clima tropical que caracteriza a estas naciones (Sharma et al., 2008). La ventaja principal de este tipo de insumos -vegetales comestibles- se deriva de la infraestructura agrícola ya existente, de manera que no es necesario realizar investigación sobre el perfeccionamiento de la producción de los cultivos de aceite para satisfacer su demanda, sin embargo, la industria del biodiésel podría competir con la industria de los alimentos, por lo que existiría una mayor presión para adquirir la materia prima, generando escasez de alimentos y un alza en el precio de éstos, además, si se incrementara el área de cultivos de aceites, se afectaría la biodiversidad y los recursos hídricos de cada región (Granjo et al., 2009).

Es necesario identificar una buena materia prima para el biodiésel que sea fácilmente disponible, sin afectar el medio ambiente y la seguridad alimentaria, es por ello que muchos de los países interesados en la fabricación de biodiésel están involucrados en la búsqueda de la materia prima más efectiva de acuerdo a sus políticas ambientales sobre biocombustible. Por ejemplo, la soja es el insumo más utilizado en Argentina para producir biocombustible debido a su bajo costo. En el caso de China, no aceptaría el uso de la soja como materia prima del biodiésel debido a su alta demanda como alimento (Beckman & Junyang, 2009). Afortunadamente, existen otro tipo de plantas no comestibles que podrían utilizarse para evitar la escases y encarecimiento de los alimentos, tal es el caso de la *jatropha*, la cual es una planta utilizada por países como Brasil e India (Dufey et al., 2007).

Ahora bien, el aceite extraído de distintas plantas no es la única fuente de materia prima para los biocombustibles. En el caso de Japón, éste utiliza aceite residual (AR), mientras que en Australia y Canadá han estudiado el uso de sebo y grasas animales (Bhattacharyya, 2011). La dificultad de este tipo de insumos proviene del alto contenido de Ácidos Grasos Libres (AGL) y de la posible solidificación en temperatura ambiente, generando problemas durante la producción y su uso. Sin embargo, el bajo costo de estas materias primas y la posibilidad de reutilizar el AR ha generado interés en la comunidad científica e industrial ( Barnwal & Sharma, 2005).

Para facilitar la clasificación de los diferentes tipos de materia prima es necesario agrupar a los insumos de origen vegetal y de origen animal, ya que dentro del grupo de insumos de origen vegetal encontramos: oleaginosas y microalgas. La soja, palma, canola (o colza), jatropha, son algunas de las oleaginosas más populares para producir biocombustible. Las microalgas son microorganismos fotosintéticos y fuente importante de aceite vegetal para la producción del biodiésel. El grupo de origen animal está compuesto por: sebo de res, manteca de cerdo y/o grasa de pollo, sin embargo, estos tres insumos podrían considerarse únicamente como sebo. Finalmente, el aceite residual proviene de la elaboración de comida en la industria alimentaria, por lo que estos aceites deben ser tratados previamente para eliminar partículas de comida e impurezas (Moreira, 2012)

Si bien existen diversos insumos para la elaboración de biodiésel, es necesario que cada fuente potencial de materia prima sea un triglicérido, ya que químicamente los triglicéridos son ésteres de ácidos grasos conectados a una molécula de glicerol. Una molécula de triglicérido puede contener distintos ácidos grasos en su estructura (Knothe, 2005). Los ácidos grasos más comunes en los aceites de origen vegetal presentan 16 y 18 átomos de carbono, de los cuales entre los más comunes se destacan: palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y linolénico (18:3) (Moreira, 2012). Cada ácido graso tiene distintas propiedades físicas y químicas, por lo que estas diferencias influirán en las propiedades de cada tipo de aceite (Canakci & Sanli, 2008).

Dependiendo de su composición química, los aceites se clasifican en saturados o insaturados. Las grasas saturadas se mantienen en estado sólido a temperatura ambiente, y a nivel molecular son ácidos grasos sin doble enlace. La mayoría de los ácidos grasos saturados provienen de fuentes animales, aunque el aceite de palma también contiene altas concentraciones de estas grasas. Las grasas insaturadas son ácidos grasos que poseen uno o más enlaces dobles de cadena corta, de manera que se les conoce como monoinsaturados y poliinsaturados, éstos se mantienen líquidos a temperatura ambiente, teniendo un bajo punto de fusión. El ácido oleico es el principal ácido monoinsaturado, las aceitunas, el aguacate y otros aceites son algunos de los ejemplos de este tipo de grasa. Los ácidos grasos poliinsaturados provienen de vegetales –sobre todo en aceite de semillas- y también de algunos animales como el pescado. Este tipo de grasas se caracterizan por tener más de un doble enlace. Podemos dividir a los ácidos grasos poliinsaturados en omega 6, el cual está compuesto por ácido linoleico y araquidónico, y omega 3; característico por estar integrado por ácido linolénico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico. Las características anteriores tienen influencia en las propiedades del biodiésel, por lo que las cualidades entre los aceites saturados e insaturados mostrarán las distintas virtudes y desventajas de cada grupo (Imahara, et al., 2006). Las propiedades en frío, número de cetano y estabilidad a la oxidación, son algunas pruebas que serán variables de acuerdo al tipo de ácidos grasos de la materia prima.

### **1.2.1 Aceite residual (AR)**

Este tipo de insumo proviene principalmente de la industria de los alimentos, hoteles, restaurantes, por ello el aceite utilizado para freír comida es considerado por expertos como una opción atractiva para generar biodiésel. Como se ha dicho anteriormente, este aceite es un residuo que puede ser reutilizado, ya que, al aplicar este insumo al proceso productivo, se disminuiría la derrama de aceite en drenaje o suelo. Al recolectar el AR es posible encontrarse con residuos del proceso de fritura profunda, como grasas amarillas y marrones, residuos de comida, o bien, jabón (Rincón et al., 2014). Otro aspecto relevante sobre el AR se encuentra en el hecho de que éste aún conserva la mayoría de triglicéridos, por lo que sus



propiedades físicas y químicas son similares a la del aceite de origen (Zhang et al., 2003). De acuerdo con las investigaciones de Gui et al., (2008) el AR contiene aproximadamente entre 10% y 25% de ácidos grasos libres (AGL), el cual es producto del proceso de fritura y calentamiento del aceite, además la presencia de aire y luz aumentan su viscosidad. El AR puede utilizarse como combustible aplicándolo directamente en el motor después de su adecuada filtración, o bien, se somete a transesterificación aplicando algún alcohol de cadena corta, para finalmente obtener biodiésel y glicerina (Kocak et al., 2007). Si se ha decidido utilizar el AR como materia prima, se debe retirar por completo la humedad, grasas, proteínas y residuos de carne animal, de lo contrario retrasarían la producción de biodiésel obligando a incluir un proceso más en la purificación (Phan & Phan, 2008).

Es importante señalar que optar por la recolección de AR no sólo beneficia a los productores de biodiésel, además de ello, se identifica externalidades positivas como la disminución de AR depositado en coladeras, reducción en la contaminación de agua y suelos, así como un mayor control de plagas derivado de menor AR en el sistema de drenaje.

Sin duda alguna, a pesar de no tener una alta pureza como en las otras fuentes de materia prima que se mostrarán, la recolección de AR favorecerá a la conservación del medio ambiente y a la calidad de vida en las ciudades.

### **1.2.2 Aceite de palma**

El aceite de palma es utilizado para cocinar alimentos, por lo que el cultivo de palma tiene alto rendimiento productivo. Es el segundo aceite comestible más consumido en el mundo. Países como Colombia, Indonesia y Malasia generan casi el 83% de la producción mundial (Hoh, 2010). El aceite de palma crudo puede aplicarse en actividades industriales, sin embargo, para ser usado en la industria alimentaria, el aceite de palma crudo debe ser refinado, blanqueado y desodorizado (Gutiérrez et al., 2007), el contenido de AGL del aceite de palma refinado es alrededor de 0.1%, lo que lo hace un candidato adecuado para producir biodiésel, ya que no es necesaria la filtración.

### 1.2.3 *Jatropha curcas*

*Jatropha curcas* es un arbusto el cual puede sembrarse en áreas silvestres, por lo que pueden desarrollarse apropiadamente en áreas tropicales y semitropicales. *Jatropha curcas* tiene la cualidad de ser una planta resistente, debido a que puede adaptarse con facilidad a tierras de barbecho y zonas con baja precipitación (Fischer et al., 2007). El aceite extraído de la *jatropha* es utilizado para fabricar lubricantes, jabones, cosméticos, productos farmacéuticos, etc. (Bart et al., 2010). Los bajos costos de producción de la *jatropha* y su adaptabilidad en distintos tipos de tierra de cultivo hacen de esta materia prima una opción atractiva para fabricar biodiésel (Prueksakorn et al., 2010).

### 1.2.4 Microalgas

Las microalgas poseen grandes cualidades para ser utilizadas como insumo para el biodiésel. Éstas crecen en variedad de condiciones, por lo que no es nada complejo lograr el mecanismo de fotosíntesis al igual que las plantas fuera del agua, sin embargo, el acceso inmediato al agua, al CO<sub>2</sub> y a otros nutrientes es mucho más eficiente (Granja et al., 2009). Dependiendo de la especie de microalga, la cantidad de aceite extraído será distinta, Según [29] las especies con mayor contenido de aceite incluyen a *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella tertiolecta*, *Neochloris oleabundans*, *Spirulina máxima*, entre otras.

### 1.2.5 Sebo

Este tipo de insumo proviene de la grasa de carne de vaca la cual se obtiene en los mataderos (Bart et al., 2010). Se sabe que el consumo de sebo afecta la salud de los humanos, por lo que este residuo se utiliza especialmente en la industria. Son una fuente abundante en ácidos grasos y glicerol para la industria química (Phan & Phan, 2008). A pesar de ser materia prima para fabricar productos industriales como tintes, cosméticos Este tipo de insumo proviene de la grasa de carne de vaca la cual se obtiene en los mataderos (Bart et al., 2010). Se sabe que el consumo de sebo afecta la salud de los humanos, por lo que este residuo se utiliza especialmente en la industria. Son una fuente rica en ácidos grasos y glicerol para la industria química (Phan & Phan, 2008). A pesar de ser materia prima para

fabricar productos industriales como tintes, cosméticos, neumáticos, velas, plásticos, perfumes, etc. En varias ocasiones la sobre oferta del sebo genera la incineración o derramamiento en vertederos, afectando el medio ambiente. Por lo anterior, se ha considerado utilizar al sebo como insumo de biodiésel por su alto índice de cetano y su bajo precio. El problema de este potencial insumo radica en que es necesario aplicar un tratamiento previo para retirar impurezas y tratar el alto contenido de AGL, para evitar la solidificación del biodiésel en bajas temperaturas (Rincón et al., 2014).

En México se han realizado estudios importantes relacionados con las fuentes principales de materia prima y su rendimiento, demostrando que la higuera, la jatropha curcas y el sorgo dulce son productos potenciales para aprovechar su potencial en materia de aceite virgen, sobre todo, porque son cultivos resistentes a la variación climática y no compiten con la industria de los alimentos. Sobre su rendimiento y características físico-químicas, se hace necesario caracterizar a cada una de las fuentes principales de materia prima, ya que al definir su composición, permitirá a los productores de biodiésel elegir el insumo más conveniente y de mejor acceso en el mercado, por lo que en el siguiente apartado se abordará el tema.

#### **1.2.6 Rendimiento de los cultivos oleaginosos y microalgas**

La materia prima de origen vegetal para los biocombustibles proviene de oleaginosas y microalgas, en este caso se mostrará el contenido de aceite y rendimiento promedio por kg/ha a lo largo de un año. La Tabla 1.5 indica que dentro del grupo de las oleaginosas la palma aceitera tiene el mayor contenido de aceite en una semilla (entre 45 y 55%), por lo que de este insumo se podría recolectar la mayor cantidad de aceite, por otro lado, la colza registra 18 a 20%. En el caso de las microalgas, éstas en promedio otorgan 41% en aceite (Mata, 2010).

En lo que a rendimiento promedio se refiere, el aceite de palma entrega 5000 kg por hectárea en promedio durante un año, las microalgas registran 86,515 kg/ha, seguido por jatropha con 1590 kg/ha, colza de 700 a 1,500 kg/ha y por último la soya proporciona 280 a 580 kg/ha.

## 1.5 Rendimiento de cultivos oleaginosos y microalgas

Oleaginosas y microalgas	Contenido de aceite (%)	Rendimiento promedio anual kg/ha	Productores principales
Soya	18-20	280-580	Argentina, Brasil, Canadá, China, E.U., India, Paraguay.
Palma	45-55	5000	Brasil, Colombia, Indonesia, Malasia, Nigeria, Tailandia.
Colza	40	700-1500	Alemania, Canadá, China, Francia, India.
Jatropha	24-34	1590	En experimentación
Microalgas	41	86515	En experimentación

Fuente: Elaboración propia con información de Castro et al., (2007); Mata et al., (2010); Oliveira et al., (2009), Nabi, et al., (2009); y Kaya et al., (2009).

Como podemos notar, la palma aceitera es el insumo que mayor rendimiento otorga, por lo que se podría perfilar como la materia prima más utilizada para elaborar biodiesel. Sin embargo, debe de considerarse el hecho de que esta oleaginosa es utilizada por la industria alimenticia, por lo que existirían dificultades si parte de los cultivos utilizados para producir aceite de palma fueran destinados a la producción de biodiesel. Debido a lo anterior, las microalgas y/o la jatropha podrían ser las fuentes primarias utilizadas para los biocombustibles, ya que su rendimiento es atractivo para proveer al biodiesel el aceite necesario, sobre todo porque este tipo de insumos no son comestibles y no afectan a la biodiversidad en los espacios donde son cultivadas.

### 1.2.7. Composición de ácidos grasos y porcentaje de aceite de las principales materias primas

Cada materia prima está compuesta por diferentes ácidos grasos; a pesar de ello, el ácido graso con mayor peso porcentual de cada insumo determinará las características físicas y químicas del producto final. En el caso de la soja, colza y jatropha, éstos tendrán un mayor nivel porcentual en el tipo de ácidos insaturados, por lo que se mantendrán líquidos a temperatura ambiente y presentarán propiedades similares en las pruebas de estabilidad a la oxidación, número de cetano, y viscosidad. El aceite de palma y las grasas animales son los insumos saturados de este grupo, su estructura química tendrá diferencias a las grasas insaturadas, las propiedades en frío serán diferentes. La Tabla 1.6 muestra la relación porcentual de los ácidos grasos de la soja, palma, colza, jatropha, grasa de res y manteca de cerdo, por lo que se podrá identificar a cada insumo como saturado e insaturado. Para los aceites poliinsaturados, éstos aun no son aceites que proporcionen la mejor calidad del biodiesel, ya que la poli-insaturación no permite el correcto control de la estabilidad oxidativa (ASTM, 2003). Aún se necesita realizar pruebas de desempeño y mejoramiento, aunque el aceite de alga continúa siendo estudiado por diferentes biólogos y químicos relacionados con la producción de biodiésel (revisar citas).

Debido a sus propiedades los aceites insaturados presentan mejores beneficios en términos de calidad del biodiésel, ya que su probabilidad de solidificarse a bajas temperaturas es menor cuando se produce biodiesel con aceites saturados, bajo esta observación, a pesar de que es apreciado la reutilización de grasas animales, resulta no ser la mejor opción para fabricar biodiésel de alta calidad, por lo que la recolección y tratamiento de grasas animales debería ser dirigida a otras actividades que promuevan su reutilización y mitiguen el desecho irresponsable. Por otro lado, si bien los aceites insaturados benefician a la calidad del biocombustible, su producción y dominio en el sector agrícola aún carecen de una estructura eficiente que garantice la demanda de aceite puro, por lo que en México el AR es la fuente principal de materia prima para el biodiésel. Favorablemente en nuestro país, se han realizado mejoras técnicas en lo que a producción de biodiésel se refiere

considerando que el AR es la fuente más popular de materia prima, científicos han diseñado métodos para garantizar la calidad del biodiésel a pesar de utilizar el AR, es así que en el siguiente apartado se abordará el proceso productivo para elaborar biodiésel

**Tabla 1.6: Composición de ácidos grasos y el porcentaje de aceite de las principales materias primas**

Oleaginosas	Tipo	Ácido mirístico (14:0)	Ácido palmítico (16:0)	Ácido palmitoleico (16:1)	Ácido esteárico 18:0	Ácido oleico (18:1)	Ácido linoleico (18:2)	Ácido linoleico (18:3)	Otros
Soja	Insaturado	...	11	...	4	24	54	7	...
Palma	Saturado	1.1	39.7	0.3	4.5	43.5	10.9	...	...
Colza	Insaturado	...	4.9	...	1.6	33	20.4	7.9	40.1
Jatropha	Insaturado	...	16.4	0.9	5.4	40.3	37	...	...

Origen animal	Tipo	Ácido mirístico (14:0)	Ácido palmítico (16:0)	Ácido palmitoleico (16:1)	Ácido esteárico 18:0	Ácido oleico (18:1)	Ácido linoleico (18:2)	Ácido linoleico (18:3)	Otros
Grasa de cerdo	Saturado	1.5	26	3.3	13.5	43.9	9.5	...	2.3
Grasa de res	Saturado	3.2	24	3.7	18.6	42.6	2.6	...	5.3

Fuente: Elaboración propia con información de Moreira, (2012); Castro et al., (2007) y Conceição et al., (2007).

## 1.3 Procesos y tecnología

### 1.3.1 Producción

Producir hoy en día biodiésel se ha convertido en una tarea que se ha perfeccionado con el paso de los años, anteriormente se intentó mezclar directamente el aceite virgen con el diésel, o bien emplear tecnologías costosas para separar las propiedades del aceite mediante alcoholes e instrumentos de laboratorio poco eficientes. En la actualidad los procesos de elaboración no sólo son más asequibles, sino que son más eficientes, incluso se han generado procesos de innovación para emplear cada vez menos materiales en el proceso de fabricación de biodiesel, reduciendo la cantidad de energía demandada por el proceso y la cantidad de dinero necesaria. Universidades e Centros de Investigación han trabajado en conjunto para impulsar la industria del biodiesel, de manera que ahora no sólo el proceso de producción es más barato en sí, sino también, la maquinaria y equipo ahora son más accesibles para motivar la creación de biorefinerías en el país.

Con respecto a la producción y el proceso químico de biodiésel, es posible identificar tres etapas secuenciales para su elaboración (Rincón et al., 2014):

- i) **Pretratamiento:** Durante esta fase se eliminan residuos sólidos en el aceite utilizado para cocinar alimentos, ya que los residuos podrían provocar un efecto no deseado en las reacciones de transformación. Mediante la filtración del aceite de cocina usado es posible eliminar material coloidal, partículas, pigmentos y otro tipo de sedimentos e impurezas (ASTM, 2003).
- ii) **Reacción:** El biodiésel puede fabricarse utilizando diferentes tipos de técnicas y procesos, pero la transesterificación es la técnica más utilizada y acreditada por la American Society for Testing and Materials (ASTM), el British Standards Institution (BSI), el Deutsches Institut für Normung (DIN), y los European Standards (EN). Básicamente, en esta fase existe una reacción de grupos de ácidos grasos de los triglicéridos utilizando algún tipo de alcohol (butanol, etanol, metanol, o propanol), al utilizar el

alcohol se generan tres moléculas de ésteres alquílicos y una de glicerol (Chang & Liu, 2009). La transesterificación es una técnica versátil ya que, de acuerdo a la materia prima, esta técnica deberá hacer uso de catalizadores (i.e., homogéneo, heterogéneo, ácido y enzimas) que le permitan acelerar la reacción de los triglicéridos y el alcohol empleado.

- iii)** Separación y purificación: Después de la fase de reacción se obtiene una mezcla derivada del proceso de transesterificación, ésta mezcla está compuesta por alcohol no convertido, glicerol, ésteres de alquilo, catalizador y triglicéridos. Para obtener un biodiésel de alta calidad la mezcla debe ser purificada de acuerdo con las normas ASTM D6751 y EN14214 (Januan & Ellis, 2010). Ahora bien, Rincón, Jaramillo, & Cardona (2014) señalan la existencia de dos formas para purificar el biodiésel: 1) se extrae el líquido con el objetivo de recuperar ésteres alquílicos en etapa ligera; por otro lado, la glicerina se encuentra en etapa pesada, de esta forma el alcohol no convertido se separa (Gerpen, 2005); y 2) se aplica destilación al vacío separando el alcohol no convertido, posteriormente se extrae líquido para separar la glicerina y finalmente el biodiésel (Zheng & Hanna, 1996).

Siguiendo con lo expuesto por Rincón, Jaramillo, & Cardona (2014), se resalta el hecho de que la primer opción para purificar el biodiésel presentó algunos inconvenientes:

- a)** La purificación se dificulta debido a la baja cantidad de glicerol que permanece en la fase de biodiesel.
- b)** Los cambios de solubilidad derivados del efecto del alcohol disminuyen la tasa de separación del glicerol.
- c)** Se requiere una etapa extra de recuperación de alcohol, por lo que los costos operativos pueden elevarse.

Por el contrario, Rincón et al., (2014) señalan a la segunda opción de purificación de biodiésel como la más eficiente ya que facilita las fases de separación, a pesar de ser un método más costoso debido a la tecnología de destilación al vacío.



Una vez elegido y aplicado el método principal de purificación, el catalizador es neutralizado, lo que genera sales que deben ser eliminadas por centrifugación, o bien, filtración. Posterior a la neutralización, se purifica la fase enriquecida con éster para suprimir el alcohol residual, las sales generadas en la neutralización, el glicerol residual, el catalizador y los jabones (IBID). Finalmente, mediante destello al vacío o destilación, el biodiésel es secado.

Actualmente existen distintos métodos para fabricar biodiésel, pero es necesario distinguir los siguientes parámetros para establecer la tecnología más eficiente (Abbaszaadeh, et al., 2012):

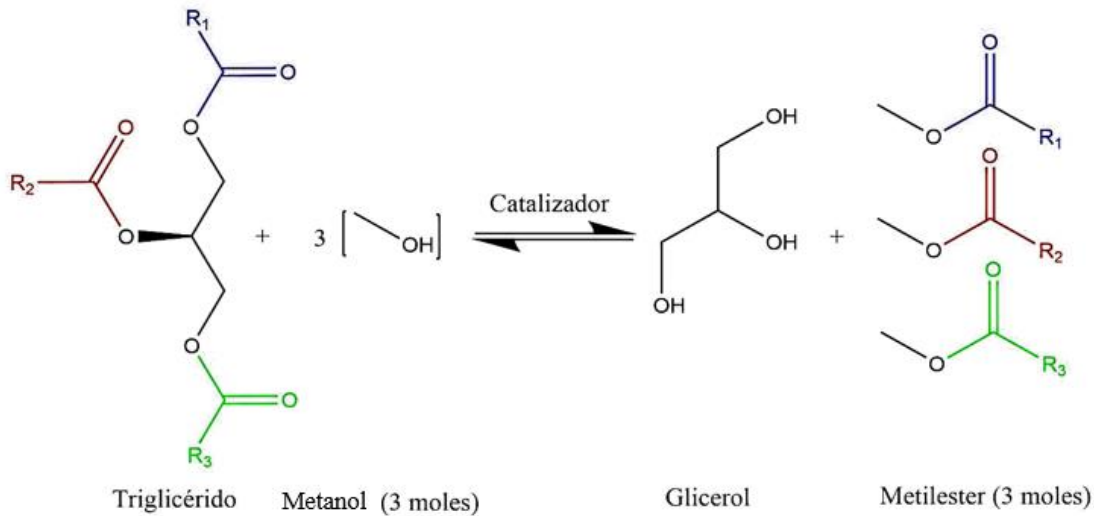
- i) Determinar tiempo de reacción, fase, tipo de catalizador, así como reactivos adicionales.
- ii) Determinar tecnologías de pretratamiento y reacción.
- iii) Determinar el consumo de energía y establecer el costo de capital y operativos.

A continuación, se abordarán los procesos más populares para elaborar biodiésel, por lo que sus especificaciones serán explicadas con el objetivo de mostrar al lector las distintas técnicas utilizadas.

### **1.3.2 Transesterificación**

La técnica más popular y eficiente para producir biodiésel es la transesterificación de aceites -en específico de triglicéridos-, la cual utilizando algún tipo de alcohol (metanol, butanol o etanol) para generar como producto principal biodiésel, y como subproducto la glicerina (Figura 1).

Figura 1.1 Transesterificación



\*De acuerdo con el esquema, un mol de triglicérido reacciona con tres moles de metanol para formar un mol de glicerol y tres moles de metilésteres.

Fuente: Elaboración propia con información de Abbaszaadeh et al., (2012).

La primera parte del proceso de transesterificación ese enfoca en convertir los triglicéridos en diglicéridos, posteriormente la transformación de éstos últimos en monoglicérol, y por último la conversión del monoglicérol en glicerol; el objetivo es conseguir una molécula de éster metílico de los glicéridos introducidos en el proceso y en cada una de las etapas descritas (Ma & Hanna, 1999). El intercambio de alcohol derivado de un éster por otro alcohol es un proceso parecido a la hidrólisis, por esta razón a la transesterificación también se le conoce como alcoholisis ( Barnwal & Sharma, 2005).

De acuerdo con las investigaciones de (Marchetti et al., 2007) las variables más importantes a observar durante la transesterificación deben ser:

- 1) Tipo de materia prima; la definición de esta influirá en la calidad y pureza del aceite, por lo que mejorará el producto final. Aproximadamente se utiliza entre 1.25 a 1.3 litros de aceite para producir biodiésel.
- 2) Contenido de ácidos grasos libres (AGL): El aceite puede contener cierto porcentaje de AGL, entre más alto sea este porcentaje, es peor para el proceso, ya que el catalizador reaccionará con estos ácidos grasos para

formar jabón, por lo que reducen el rendimiento de la producción de biodiésel. La norma ASTM D6751 establece que, en el biodiesel, el número ácido no debe ser mayor de 0.80 miligramos de hidróxido de potasio requerido para saponificar un gramo de grasa.

- 3) Relación de alcohol a aceite: el alcohol utilizado en el proceso de producción debe aplicarse proporcionalmente de acuerdo a la cantidad de aceite que se esté transformando, y por otro lado, definir el alcohol adecuado mejora el proceso y lo hace más rápido. Si se deseará trabajar con 10 litros de aceite, aproximadamente se necesitaría 2.6 litros de metanol (alcohol).
- 4) Concentración y el tipo de catalizador: Este elemento ayuda en la mezcla del alcohol y el triglicérido, factor necesario para su conversión en biodiésel, existen diferentes tipos de catalizadores por lo que más adelante se profundizará en ello. Para la catálisis básica homogénea, se necesita únicamente 0.75% de hidróxido de sodio (NaOH) en peso. Es decir, si tienes 10 kg de aceite, se necesita 75 g de catalizador, para la catálisis heterogénea, el porcentaje en peso del catalizador varía de 3 a 6% aproximadamente.
- 5) Temperatura, tiempo y presión de la reacción: Cuidar de estas variables acelerará el proceso de separación entre el producto final biodiésel y el subproducto (glicerina). En condiciones típicas, se necesita una temperatura de 60 a 65°C, la presión es autógena, es decir, se genera en el reactor o matraz cerrado y es producida por el metanol que se evapora, usualmente no es alta, se considera como presión atmosférica.

El alcohol y los aceites (derivados de los triglicéridos) no pueden formar una sola fase de mezcla, por lo que la miscibilidad provoca que la reacción de transesterificación sea relativamente lenta. El uso de catalizadores facilita la mezcla entre triglicéridos y el alcohol, por esta razón los catalizadores son utilizados para disminuir el tiempo de reacción y mejorar el rendimiento del biodiésel. No obstante,

se han desarrollado técnicas e investigaciones que permitan mejorar los tiempos de reacción y rendimiento de biodiésel sin el uso de catalizadores, buscando ahorrar recursos y tiempo durante el proceso (Tan et al., 2009).

### 1.3.2.1 Transesterificación catalítica

Existen dos clases de catalizadores para fabricar biodiésel: homogéneos y heterogéneos. Un catalizador homogéneo es aquel que permanece en la misma fase líquida de los reactivos en el proceso de transesterificación, por lo que es conocida como transesterificación catalítica homogénea. Ahora bien, si después de la transesterificación el catalizador se encuentra en una fase distinta (sólido, líquido, gas) a la de los reactivos, el proceso será conocido como transesterificación catalítica heterogénea (Helwani et al., 2009).

Es necesario determinar qué tipo de catalizador utilizar en la transesterificación, ya que no sólo se logrará hacer más eficiente la producción de biodiésel, sino que también se podría ahorrar costos económicos. Los ácidos grasos libres (AGL) también determinan el tipo de catalizador que se debe usar, ya que para los aceites y grasas que posean una menor cantidad de AGL, es suficiente utilizar una reacción catalizada básica para generar una apropiada conversión en un tiempo relativamente corto, y bien, si se tratase de aceites (o grasas) con alto contenido de AGL, la esterificación catalítica por ácido antes de la transesterificación es la técnica más apropiada (Schuchardta et al., 1998), sin embargo, el catalizador más utilizado a nivel industrial es el NaOH (Hidróxido de sodio) para catálisis básica homogénea.

#### 1.3.2.1.1 Transesterificación catalítica homogénea

La clasificación de catalizadores homogéneos se compone por catalizadores básicos y catalizadores ácidos. El catalizador básico está inmerso en la transesterificación homogénea, éste necesita un alto nivel de pureza en la materia prima y la correcta separación del catalizador utilizado y el subproducto resultante (glicerina) (Meher et al., 2009).

Ventajas: La transesterificación catalítica homogénea requiere una baja temperatura de reacción (60°C), se puede efectuar la reacción a presión

atmosférica, catalizadores ampliamente disponibles y muy baratos, económicamente viable (loc. cit).

Desventajas: Uso de grandes volúmenes de agua para etapas de lavado (para eliminar jabón y neutralizar el pH), generación de aguas residuales por etapas de lavado que requieren posterior tratamiento, no puedes recuperar el catalizador, naturaleza corrosiva del material, generación de agua y más ácidos grasos libres (debido a que el NaOH absorbe agua de la atmósfera) (ibídem).

#### *1.3.2.1.1 Transesterificación catalítica homogénea básica*

El carbonato de sodio, carbonato de potasio, los hidróxidos y alcóxidos de metales alcalinos, son algunos de los catalizadores de base homogénea más utilizados (Meher et al., 2009). Durante la metanolisis básica es posible utilizar hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Según (Kawashima et al., 2009) los catalizadores se caracterizan por las siguientes cualidades: 1) condición de operación modesta, 2) alta conversión en poco tiempo, 3) actividad catalítica elevada, y 4) alta disponibilidad y económicamente viable.

De existir una elevada cantidad de agua y de AGL, no es posible elaborar biodiésel a partir de transesterificación catalítica homogénea básica (Meher et al., 2009), ya que los AGL del aceite reaccionan al catalizador básico produciendo jabón e impidiendo la separación del biodiesel. El exceso de agua interviene cambiando parcialmente a la saponificación, por lo que el catalizador básico es consumido. La presencia de jabón en el compuesto incrementa la viscosidad, formando una especie de gel que baja el rendimiento del éster, por lo que hace más difícil la dispersión del glicerol o en general se dificultan las operaciones de separación del biodiésel, así como el cumplimiento de los requisitos técnicos de calidad.

Ventajas: El NaOH es barato, se consigue fácilmente, genera altas conversiones (aprox. 98%), se requiere poco porcentaje en peso (Kawashima et al., 2009)

Desventajas: Es corrosivo para la piel y mucosas, debe manejarse con mucho cuidado, genera jabones, es higroscópico (absorbe humedad del aire, el agua genera más ácidos grasos libres y, por consiguiente, más jabones), puede aumentar

el pH del biodiésel y para reducirlo, se requiere lavar, generando agua residual (Meher et al., 2009)

#### *1.3.2.1.1.2 Transesterificación catalítica homogénea ácida*

Un catalizador ácido es otra forma de procesar los triglicéridos para la fabricación de biodiésel. Los catalizadores ácidos más utilizados son: ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido sulfónico. Este tipo de transesterificación mezcla directamente el aceite con el alcohol acidificado, por lo que la separación y transesterificación suceden en un mismo proceso, debido a que el alcohol acidificado disuelve y esterifica (Cerveró et al., 2000). De incluir cantidades excesivas de alcohol, el tiempo de reacción requerido disminuiría, por ello la transesterificación catalítica homogénea ácida necesita una elevada concentración de catalizador y una relación molar alta para disminuir el tiempo de reacción (Enweremadu & Mbarawa, 2009).

Ventajas: Una de las ventajas de la transesterificación homogénea ácido sobre la básica se debe a la capacidad de producir biodiésel a pesar de la presencia de AGL en los insumos, sin embargo, la presencia de agua la hace susceptible, por lo que el agua en la reacción afectaría los rendimientos del éster en la transesterificación con metanol (Goff et al., 2004). Además de la sensibilidad al agua, la transesterificación catalítica homogénea ácida tiene la desventaja de corroer el equipo con el que se elabora, genera más residuos de neutralización, presenta actividad catalítica débil, y necesita mayor temperatura y tiempo de reacción (Di Serio, et al., 2007).

Desventajas: Es un proceso mucho más lento y requiere temperaturas más altas, así que consume más energía, es sólo un paso previo a la transesterificación básica homogénea (Cerveró et al., 2000)

#### *1.3.2.1.2 Transesterificación catalítica heterogénea*

Debido a que los catalizadores heterogéneos se encuentran en un estado distinto a la mezcla de reacción, tienen la ventaja de separarse con facilidad y ser reutilizados, además de que el catalizador heterogéneo no produce jabón (Wang et

al., 2007). La transesterificación catalítica heterogénea elimina pasos de lavado, recupera biodiésel y catalizador, lo que asigna una mayor eficiencia al proceso de producción.

En la mayoría de los casos los catalizadores heterogéneos de base sólida más populares son las zeolitas básicas, las hidrotalcitas y los óxidos de metales alcalinotérreos (Abbaszaadeh et al., 2012). A la temperatura alrededor del punto de ebullición del metanol el catalizador de base sólida es activo en la transesterificación (Kouzu & Hidaka, 2011).

Ventajas: Recuperación del catalizador relativamente sencilla, disminución de costos de separación, no requiere etapas de lavado (no genera jabón) ni neutralización del pH, El catalizador se puede regenerar y reutilizar, purificación simple del biodiésel producido, ahorro en consumo de agua y energía, glicerol de alta pureza (Goff et al., 2004)

Desventajas: Dificultad en el diseño de reactores a gran escala, puede existir lixiviación de la fase activa del catalizador y, por lo tanto, inactivación del mismo, alto costo de inversión inicial, síntesis o preparación de mayor complejidad, alto costo y consumo energético para la regeneración del catalizador (usualmente se calcinan a 500°C) (Wang et al., 2007)

#### *1.3.2.1.2.1 Transesterificación catalítica heterogénea de ácido sólido*

El tipo de catalizadores usados en este tipo de transesterificación tienen las siguientes ventajas: no es necesario controlar los niveles de AGL, y tampoco incluir la purificación del biodiésel, dado que la esterificación y transesterificación ocurren de forma simultánea, con una separación sencilla entre el catalizador y los productos de reacción, y la disminución de la corrosión a pesar de las sustancias ácidas en la mezcla (Jitputti et al., 2006). Nafion-NR50, zirconia tungstatada y zirconia sulfatada pueden ser utilizados como catalizadores ácidos heterogéneos (Singh & Fernando, 2007).

Este proceso es similar a la transesterificación ácida homogénea, de manera que sólo se usa cuando el aceite tiene muchos ácidos grasos libres. Es un proceso más lento y que requiere temperaturas más elevadas.

### **1.3.2.2 Transesterificación biocatalítica**

Los biocatalizadores son lipasas naturales, por ello se han clasificado en dos grupos de biocatalizadores enzimáticos: lipasas extracelulares y lipasas intracelulares. Este tipo de catalizador, como los heterogéneos, tiene la ventaja de ser separados de la mezcla de reacción y de ser reutilizados a través de su inmovilización (Robles et al., 2009). Las lipasas pueden ser inmovilizadas utilizando métodos como la unión covalente, el atrapamiento, la adsorción, encapsulación y reticulación (Abbaszaadeh et al., 2012).

Ventajas: En contraposición con lo anterior, el método de transesterificación biocatalítica no genera glicerol, las condiciones de temperatura son moderadas al estar entre los 35 y 45 °C, por lo que el reciclaje de los catalizadores es posible, además, es posible utilizar el AR como materia prima debido a su alta resistencia al agua y a los AGL (Hama et al., 2004); tales ventajas hacen que la transesterificación biocatalítica adquiera relevancia en el proceso químico del biodiésel.

Desventajas: A pesar de que la inmovilización de la enzima extracelular funciona para separar, purificar y estabilizar las lipasas, este método es bastante costoso y registra una velocidad de reacción lenta (Ranganathan et al., 2008).

### **1.3.2.3 Producción de biodiésel sin catalizador**

Dentro de la técnica de transesterificación están involucrados distintos procesos, tales como purificación de ésteres, separación de elementos, y la recuperación de catalizadores y reactivos, por lo que, a opinión de algunos investigadores, complica la producción de biodiésel. Esta circunstancia ha incentivado a crear métodos de transesterificación sin catalizadores, por lo que hoy en día existen dos técnicas que podrían para hacer posible la creación de biodiésel sin el uso de catalizadores.



#### 1.3.2.3.1 Transesterificación a partir de alcohol supercrítico

Este método utiliza alta temperatura y presión para conseguir la transesterificación sin el uso de catalizadores. El tiempo de reacción es acelerado por lo que la conversión aumenta entre 50 a 90% en los primeros 10 minutos, sin embargo se necesitan altas temperaturas alrededor de 250 a 400 °C (Tan et al., 2009). De acuerdo con Kawashima et al., (2009) el uso de metanol supercrítico ha resultado ser un método satisfactorio para la transesterificación de triglicéridos, el problema se haya en los requerimientos de altas temperaturas y elevada presión, además de requerir grandes cantidades de metanol, elevando el costo de producción.

Esta técnica otorga una solubilidad de fase optimizada, debido a que aumenta la velocidad de reacción y permite separar sin dificultad los elementos de reacción y purificación. La transesterificación por alcohol supercrítico es bastante resistente a la presencia de AGL y de agua, por lo que puede transformar diferentes tipos de materia prima, en este sentido, podrían elegirse insumos de bajo valor para equilibrar los costos en energía usados por la temperatura y presión ejercida en la producción de biodiésel (Abbaszaadeh et al., 2012).

Ventajas: Alta conversión, no se requiere uso de catalizador.

Desventajas: Temperaturas arriba de 200°C aproximadamente, se genera presión en las paredes del reactor, así que deben utilizarse reactores especiales que aguanten esas condiciones. El consumo energético es muy elevado. Los tiempos no se reducen significativamente (Tan et al., 2009).

#### 1.3.2.3.2 Transesterificación BIOX co-solvente

La técnica de transesterificación BIOX co-solvente resuelve el problema de la baja solubilidad de metanol en aceite, mejorando el tiempo de reacción sin dejar rastros de residuos de catalizador en la etapa del éster o la del glicerol. En la aplicación de este proceso los triglicéridos y los ácidos grasos logran su conversión en un proceso bajo presiones atmosféricas, temperatura ambiental, y de forma continua, lo cual es logrado en un tiempo promedio de 90 min (Bioxcorp, 2008). Al

usar un co-solvente se acelera la reacción derivada de la baja solubilidad del alcohol en los triglicéridos.

Ventajas: Sobre sus ventajas, la transesterificación BIOX permite recuperar los co-solventes etrahidrofurano o metil butil éter terciario, por lo que se acelera favorablemente la metanolisis, también tiene la ventaja de ejecutarse bajo temperatura y presión ambiental. Finalmente, este proceso puede usar cualquier tipo de materia prima potencial para fabricar biodiésel (Bioxcorp, 2008).

Desventajas: No obstante, los co-solventes deben emplearse cuidadosamente por su alto nivel de toxicidad, éstos deben suprimirse del estado líquido del biodiésel y del glicerol, además de que no debe haber presencia de agua (Boocock et al., 1996).

Como se ha demostrado, existen diversos procesos para elaborar biodiésel mediante la transesterificación, sin embargo, identificamos dos problemas que se hacen constantes alrededor de la producción, (1) la separación del biodiésel, glicerol y metanol remanente en la mezcla final es un aspecto que las diferentes técnicas tratan de erradicar y, (2) el pH elevado del aceite produce jabones en el biodiésel, utilizando elevadas cantidades de agua para lavar el biocombustible.

No obstante, la existencia de centros de investigación especializados y la colaboración con las universidades ha generado la innovación en el campo de la catálisis heterogénea, haciendo cada vez más eficiente este proceso, mejorando sus áreas de oportunidad y automatizando las plantas de producción, por lo que las investigaciones han reducido los costos de producción, haciendo cada vez más competitivo al biodiésel frente al diésel.

## Conclusiones

El biodiesel es un combustible amigable con el medio ambiente debido a su huella neutro de CO<sub>2</sub> y a su reducida emisión de dióxido de azufre, material particulado, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de nitrógeno. Es un biocombustible seguro para ser transportado y almacenado, y su mezcla al diésel (B6 a B20) no demanda la modificación de motores de ignición para utilizarse en sus mecanismos, siempre y cuando cumpla con los estándares de calidad establecidos por la ASTM y la CRE.

En contraparte, el biodiésel genera menor energía y potencia de torque que el diésel, derivado de un menor poder calorífico con respecto al diésel, la energía que se pierde por galón se disminuye en un 8% y 12.5% menos energía por libra y, por otro lado, el periodo de almacenamiento es inferior a seis meses, teniendo que suministrar a la mezcla compuestos ácidos para evitar la creación de partículas sólidas.

La materia prima adecuada para producir biodiésel debe contener ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, los cuales son obtenidos de distintas materias primas naturales y renovables, como grasas animales, aceite vegetal, o bien, aceite residual. Las oleaginosas son la mejor fuente para extraer aceite de las semillas, su aceite posee la más alta calidad con respecto al resto de las materias primas y permite que la calidad del biodiésel corrija las disminuciones en el torque de motores, incluso disminuye la probabilidad de solidificación de partículas durante el almacenamiento.

Aunado a lo anterior, existe un problema de oferta de materia prima, ya que la producción del biodiésel demanda mayores cantidades de lo que se puede recolectar. Al no existir un modelo agro-energético que suministre con eficiencia la demanda de aceite, los productores de biodiesel se enfrentan al riesgo de no satisfacer la demanda de sus clientes.

La transesterificación es el proceso más efectivo para generar biodiésel, de considerarse mezclas homogéneas o heterogéneas, el catalizador deberá utilizarse

para completar el proceso de transformación de la biomasa, o bien, emplear métodos innovadores donde el catalizador ya no es utilizado. Las distintas formas de fabricar el biodiesel radican en la disminución de costos de producción e impacto ambiental, por lo que habrá procesos donde se priorice la reutilización del catalizador, se disminuya el uso de agua y electricidad, o bien, procesos donde se priorice el tiempo de producción. La decisión sobre qué tipo de procedimiento a utilizar dependerá de los objetivos de cada productor de biodiesel.

En términos generales, la industria de biodiésel en México posee el conocimiento y técnica suficiente para hacer de este biocombustible un producto de calidad que cumpla con las necesidades del consumidor y los requerimientos ambientales para combatir el calentamiento global. Las recomendaciones de las instituciones internacionales especifican que es posible mezclar el biodiésel al diésel en una proporción no mayor al 20%, por lo que éste no afectará a los motores, mejorando la aceptación del público. Como ya se mencionó antes, el gran problema de la producción, proviene del aseguramiento de la materia prima, debido a la ausencia de los órganos de gobierno para consolidar con eficiencia el sector agrícola con el sector energético.

En cierto sentido, pudiera pensarse que bastaría con la mejora de las regulaciones y creación de programas de promoción del biodiésel, además de buscar incentivos legales que faciliten la creación de una industria de biodiésel. En el siguiente capítulo abordaremos el contenido legal relacionado al desarrollo del mercado del biodiésel, por lo que se revisarán los documentos oficiales que correspondan con el impulso de esta joven industria.

## Capítulo 2: Marco legal del biodiesel e instrumentos para su promoción

En este capítulo el lector encontrará las referencias legales relacionadas con la promoción y desarrollo de la industria del biodiésel, por lo que nuestra intención es identificar los criterios de cada ley y norma para cerciorarnos si existen los mecanismos legales suficientes para promover la industria del biodiésel en nuestro país.

Iniciaremos con la definición de la estructura legal, por lo que será necesario esclarecer qué artículos constitucionales benefician la existencia de un mercado de biodiésel en México, por otro lado, se hará mención al papel de la Reforma Energética, pues a partir de esta reforma se componen una serie de leyes que tienen como objetivo el impulsar el sector energético mediante el uso de energías limpias y renovables – además de combatir el cambio climática y proteger la biodiversidad del país-, como la Ley de Transición Energética (LTE) y, por supuesto, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Se informará de los instrumentos para la promoción de bioenergéticos, y en específico de biodiésel y, por último, se relatará sobre los permisos y normas obligatorias que debe cubrir cualquier interesado en producir, transportar y/o comercializar biodiésel.

### 2.1 Marco jurídico

Durante la última década, naciones comprometidas con el combate al cambio climático han aplicado métodos legales e instrumentos de política pública para hacer efectivo la disminución de gases de efecto invernadero. Países como Francia, Suecia, o Japón, han creado mecanismos legales que dan certidumbre no sólo para la promoción *in situ* de las energías renovables, sino también, para la correcta aplicación de los distintos productos energéticos en su industria nacional. Es entonces que al aplicar una legislación a favor de la preservación del medio ambiente se puede lograr avances significativos en el corto plazo, siempre que las instituciones encargadas de hacer valer la ley apliquen la reglamentación según el

entorno ambiental, económico y social de cada país. La observación y actualización del marco legal es esencial para mitigar los vacíos legales que pudieran surgir durante la transición energética.

Durante el siguiente apartado se mostrarán las herramientas legales e instrumentos de promoción relacionados con la promoción del biodiésel, ya que al distinguir las leyes y programas relacionados con la producción y consumo de biodiésel será posible esclarecer si el mercado de este biocombustible cuenta con el marco jurídico e institucional para asegurar su solvencia, además de identificar qué arreglos normativos son necesarios para la integración de los biocombustibles en la actividad económica del país.

### **2.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) es la ley máxima que establece el marco de acción de las autoridades y de los gobernados, mediante derechos y obligaciones que determinan el resto del marco legal nacional. De esta forma la Constitución Política otorga validez al resto de normas jurídicas del sistema mexicano. Bajo este esquema jurídico, el contenido de la normatividad relacionada con las energías renovables se establece para dar garantía de su desarrollo y promoción.

De acuerdo con la CPEUM, los fundamentos constitucionales de las energías renovables podemos encontrarlos en los siguientes artículos (Congreso Constituyente, 2019):

- De acuerdo con el artículo 1° constitucional, las autoridades gubernamentales están obligadas a promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos de acuerdo con los compendios de universalidad, indivisibilidad, progresividad e interdependencia. Es así que el Estado debe prevenir, averiguar, condenar y remediar la transgresión a los derechos humanos, de acuerdo con la ley.
- Sobre el artículo 4°, se estipula el derecho a un medio ambiente sano para el bienestar y desarrollo de todo individuo, además de acceso a la salud y a

una vivienda digna, lo cual el Estado deberá asegurar. La ley estipula la completa responsabilidad para reparar el daño ambiental generado.

- El artículo 25° define que la gestión del desarrollo nacional debe realizarse de forma integral y sustentable, determinando la responsabilidad directa del Estado para fortalecer el régimen democrático y la soberanía nacional, a través del crecimiento económico, la generación de empleo y una mejor distribución del ingreso para garantizar la dignidad y libertad de las personas, grupos y clases sociales.
- En lo que se refiere al artículo 26° se establece el deber del Estado a diseñar un sistema de planeación democrático para el desarrollo nacional, el cual deberá ser dinámico, permanente y económicamente equitativo para la democratización política, social y cultural del país.
- En el artículo 124° señala la facultad de los funcionarios estatales y locales para responsabilizarse sobre las actividades que no están expresamente concedidas por esta constitución a las autoridades federales.

De lo anterior, podemos destacar el interés por garantizar la ejecución de los derechos humanos, de manera que todas las instituciones y órdenes de gobierno deben actuar bajo esta premisa. Es así que, para garantizar la calidad de vida de los ciudadanos es necesario cumplir con el derecho al medio ambiente sano, el cual debe ser conservado y protegido con la ejecución de leyes, programas y lineamientos que promuevan su restauración.

Aplicando los artículos anteriores y con la finalidad de atraer inversión privada, durante diciembre de 2013 se aprobó la Reforma Energética modificando la Constitución Política Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos, de manera que se instauró un nuevo marco legal para el sector energético, creando distintas leyes secundarias pertinentes para el fomento de proyectos basados en energías renovables, de las cuales, podemos destacar las siguientes (Vargas, 2017):

1. Ley de Transmisión Energética (LTE)
2. Ley de la Industria Eléctrica (LIE)
3. Ley General de Cambio Climático (LGCC)

4. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)
5. Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS)
6. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
7. Ley de Energía Geotérmica (LEG)
8. Ley de Planeación
9. Ley Orgánica de Administración Pública (LOAP)
10. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética (LORCME)
11. Ley de Inversión Extranjera
12. Ley de Asociaciones Público Privadas

En relación a lo anterior, observamos que la reforma energética desprende diferentes leyes que hacen hincapié en distintas necesidades, sin embargo, las únicas relacionadas de forma directa o indirectamente con el desarrollo del mercado de biodiésel son la LTE y la LPDB, en el caso de la LDRS, su objetivo central está mayormente enfocado en la eficiencia productiva del sector agrícola mediante el uso de tecnología sustentable, para mejorar el rendimiento del sector y disminuyendo el consumo de energía y agua en los procesos (Cámara de Diputados, 2019), desafortunadamente, no hace mención a la colaboración explícita para articular el sector agrícola con el sector energético, y en su defecto, apoyar a la industria de biodiésel con la materia prima necesaria para su producción. Esta desarticulación entre los sectores debe ser una oportunidad para estimular al sector agrícola, y sobre todo el crecimiento económico, por lo que será de nuestro interés continuar con el análisis de las leyes y programas que fortalezcan el mercado de biodiésel.

### **2.1.2 Reforma Energética**

A nivel internacional se han hecho modificaciones en la normatividad de cada país para diversificar la matriz energética, sobre todo para garantizar la eficiencia en el uso de este recurso (Secretaría de Energía, 2016), no obstante, las reformas legales en materia ambiental han incluido temas diversos como la escasez del agua, el manejo de residuos industriales, el cambio climático, entre otros.



La Reforma Energética surge derivado de la propuesta y estudio de iniciativas planteadas por los partidos políticos mexicanos, la cual se encuentra respaldada tanto a nivel constitucional y a nivel legislación secundaria, entrando en vigor en diciembre de 2013 (Gobierno de la República, 2013). Los objetivos principales de la Reforma están orientados a: Mejorar la economía de las familias (disminuyendo el costo de combustibles y de la energía eléctrica), aumentar la inversión y los empleos, reforzar a Pemex y a CFE y, al reforzamiento de la rectoría del Estado en materia energética (Gobierno de la República, 2013). Gracias al trabajo de Muciño (2014), se puede identificar algunos puntos principales a las leyes secundarias de la reforma energética, que se detallan a continuación:

1. Contratos: En este apartado se determina el tipo de contrato que puede realizar la iniciativa privada con el Estado, y en su defecto con Pemex, como sería: utilidad compartida, producción compartida y licencias.
2. Servidumbre legal: Se refiere al derecho y libertad, según lo manifestado por el contrato, para la realización de obra civil, construcción, instalación de equipo, mantenimiento de infraestructura, tránsito de personas, almacenamiento de materiales para la construcción, y bienes de todo tipo relacionados con las actividades de construcción.  
  
Por otro lado, los dueños de las tierras donde se desarrolle la obra tienen derecho a una contraprestación del contratista, la cual puede encontrarse en un margen de 0.5% a 3% de las utilidades generadas. Sin embargo, de no celebrarse un acuerdo por ambas partes, el propietario del terreno o el contratista podrán acudir ante un juez tribunal agrario o de distrito, cualificado en la constitución de la “servidumbre legal de hidrocarburos”, obligando al dueño del terreno a ceder su propiedad.
3. Criterio económico: Las condiciones económicas relacionadas a los contratos y a los términos fiscales de cada licitación son establecidas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). Es así que la asignación de contratos se asignará a quien ofrezca mayores pagos contractuales para el Estado, independientemente de los criterios técnicos.

4. Final del monopolio de gasolina: Desde el 2017 distintas empresas privadas con marca propia dieron apertura a sus estaciones de servicio, por otro lado, en 2018 se inició la importación de gasolina, de manera que Pemex perdió el control monopólico que le caracterizaba.
5. Mayor número de proyectos de exploración y extracción: Porcentualmente, el promedio de exploración y extracción estimado para 2025 será cercano al 35%, sin embargo, en lo que a aguas profundas se refiere, el cálculo de la estimación es diferente.
6. Ley de inversión extranjera: Se establece que únicamente contratistas particulares y asignatarios de Pemex pueden ejecutar actividades de producción y extracción, ya que se considera una acción estratégica para el Estado.
7. Ley minera: Se decreta que toda actividad de extracción y/o exploración de hidrocarburos tiene prioridad por encima de otra que, de igual manera, necesite aprovechar el subsuelo y la superficie. Sin embargo, los contratos y concesiones mineros vigentes y que se otorgaron posteriormente no adjudicarán permisos para la extracción y exploración de hidrocarburos, sin afectar las concesiones celebradas antes de la reforma energética.
8. Ley de Industria Eléctrica: Hace mención al absoluto control y planeación del sistema eléctrico nacional, de la misma forma en la distribución de electricidad y la transmisión del servicio público.
9. Empresas productivas del Estado: La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Pemex son reconocidas como “empresas productivas del Estado” siendo, además, propiedad exclusiva del Estado mexicano a nivel federal.
10. Derechos del sindicato: El cambio en la jurisdicción de Petróleos Mexicanos no significa modificación en los derechos laborales de quienes se encuentran en activo, o bien, quienes están jubilados, por otro lado, Pemex está obligada a considerar la opinión de sus colaboradores para mejorar y actualizar la política de recursos humanos y capacitación.
11. La Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH): Ambas instituciones son acreedores a la autonomía

presupuestal y a mayor dominio como instituciones reguladoras, por otro lado, la relación con la SENER (Secretaría de Energía) se hace más estrecha por medio del Consejo Coordinador del Sector Energético. Es responsabilidad de la CNH gestionar y acreditar los contratos de extracción y exploración de todo hidrocarburo.

12. Medio ambiente: De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF) publicado el 11 de agosto de 2014 (Cámara de Diputados, 2014) “La Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente tiene como objetivo la seguridad de los ciudadanos, el medio ambiente y las instalaciones del sector, por lo que es responsable de la seguridad industrial, supervisando actividades de operación, desmantelamiento, abandono de instalaciones y control integral de emisiones y residuos contaminantes”.
13. Fondo Mexicano del Petróleo: Es un fideicomiso gestionado por el Banco de México, el cual debe administrar el ahorro de largo plazo de las retribuciones recibidas a través de los contratos celebrados. Una vez que el ahorro supere el 3% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, Banxico aconsejará a la Cámara de Diputados utilizarlo en proyectos de energía, infraestructura, o bien, en educación.

La Reforma Energética promueve diferentes áreas correspondientes al sector energético, sin embargo, desde el momento de su creación hemos notado que esta Reforma estuvo mayormente dirigida para el impulso del sector de hidrocarburos y de electricidad, con el objetivo de incentivar la inversión privada en ambas actividades. No cabe duda que la motivación de esta reforma para producir energía limpia y renovable es un elemento pertinente de acuerdo a las circunstancias globales en materia de impacto ambiental, sin embargo, en materia de biocombustibles (bioetanol, biodiesel y otros) el desempeño de esta reforma no está impactando a una industria que en teoría se debería estar promoviendo, habrá que observar con atención en los siguientes apartados el desempeño que la LTE y la LPDB tienen para el biodiesel. De momento la Reforma Energética no ha logrado atraer inversión privada para las actividades relacionadas con el biodiesel, sorprendentemente Petróleos Mexicanos tampoco ha manifestado la intención de

comercializar este producto, por lo que las empresas productoras de biodiésel en México han encontrado dificultades para hacer frente a las limitaciones de un mercado poco explorado.

### **2.1.3 Ley de Transición Energética**

El objetivo de la Ley de Transición Energética (LTE) es gestionar la producción sustentable de energía limpia y todas las actividades relacionadas con este sector para reducir las emisiones contaminantes de acuerdo con la Ley General de Cambio Climático (Cámara de Diputados, 2015).

La Ley de Transición Energética (LTE) se publicó en el DOF en diciembre del 2015, la cual fue creada para asegurar y administrar el manejo sustentable de la energía demandada en México, por lo que a través de esta ley se están creando los medios para aumentar la participación y uso de energías limpias y con bajas emisiones contaminantes, sobre todo en el manejo de la industria eléctrica; no obstante, otras industrias también deberán considerar cambiar colaborar con la transición energética.

De acuerdo con el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (2017), los objetivos más relevantes de la LTE son:

1. El incremento gradual de la participación de las energías limpias en la industria eléctrica con el objetivo de cumplir las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones.
2. La incorporación de las externalidades en la evaluación de los costos asociados a la operación y expansión de la industria eléctrica, incluidos aquéllos sobre la salud y el medio ambiente.
3. Establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.
4. Promover el aprovechamiento sustentable de la energía en el consumo final y los procesos de transformación de la energía.
5. Promover el aprovechamiento energético de recursos renovables.

6. Apoyar el objetivo de la Ley General de Cambio Climático, relacionado con las metas de reducción de emisiones GEI y de generación de electricidad provenientes de fuentes de energía limpia.

La LTE además de asegurar cubrir la demanda de energía eléctrica diversificando la matriz energética, también busca asegurar las condiciones de viabilidad económica para que las distintas energías renovables sean promovidas en los diversos sectores de la economía. El diseño de infraestructura para las energías renovables y la captura de carbono son necesidades por las que esta ley fue promulgada (Niño et al., 2017).

De acuerdo con la LTE se le considera fuentes de energías renovables a (Cámara de Diputados, 2015):

- Viento.
- Radiación solar.
- Movimiento del agua en cauces naturales o artificiales.
- Energía oceánica derivada de corrientes marinas, gradiente de concentración de sal, o bien, del gradiente térmico marino.
- Calor de yacimientos geotérmicos.
- Bioenergéticos determinados por la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos.

Si bien la LTE plantea objetivos claros sobre los cambios que deben realizarse en la producción y consumo de energía, aun no es evidente la correcta aplicación de esta ley en materia de biodiésel, ya que hoy en día la producción y consumo de combustible fósil no está asociado al mezclado con biodiésel, además la LTE aun flaquea en su cumplimiento para dotar a la industria de biocombustibles la infraestructura agro-energética necesaria para que se desarrolle un mercado de biocombustibles competitivo. Es por ello que, a pesar de contar con un marco legal para la transición energética, aún no se han ejecutado acciones para hacer que el sector industrial y el público en general demanden combustibles derivados de fuentes renovables. Por otro lado, la demanda de biocombustibles se ve disminuida

por la escasa difusión de sus beneficios, además de no asegurar la cobertura de materia prima para producir biodiésel a gran escala. La LTE estipula acciones benéficas, sin embargo, no existe seguimiento estricto para que las empresas y la industria transite a otro tipo de energías, y sobre todo si el gobierno en todos sus niveles no actúa aplicando en sus funciones el uso de biodiésel. Podríamos decir que en teoría la LTE promueve el consumo de biodiésel y otras energías limpias y renovables, sin embargo, la dirección y aplicación correcta de la ley están mayormente inclinadas a mercados mayormente desarrollados, como el mercado eléctrico mayorista y el mercado de hidrocarburos, espacio donde el biodiésel no se ha utilizado como producto complementario de esta industria.

En la siguiente sección mostraremos el papel de la LPDB, por lo que será interesante establecer de qué manera la ley que promueve el uso de biocombustibles propone soluciones para impulsar el mercado de biodiésel.

#### **2.1.4 Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos**

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) determina los lineamientos para la industria del biodiésel. Sin embargo, es necesario identificar si sus cualidades cubren eficientemente las necesidades socioeconómicas del país. Lo siguiente, son algunos de los artículos relevantes y necesarios que actualizar, por lo que se hará mención al contenido de los artículos y una breve crítica a cada uno.

El artículo 1 de la LPDB, por ejemplo, dicta la promoción de insumos energéticos provenientes del sector agrícola, siempre y cuando se asegure la soberanía y seguridad alimentaria. Su propósito es impulsar el crecimiento económico del sector agrícola, aumentar el ingreso salarial de ese sector y contribuir en la reducción de emisiones contaminantes. Por otro lado, este artículo no establece que los procesos utilizados para la producción de insumos deben utilizar métodos con bajo impacto ambiental, ya que, a pesar de que los insumos sean destinados hacia un bioenergético, no significa que no se deba controlar el impacto ambiental generado en la creación de insumos para biocombustibles (Sandoval, 2010).

El artículo 4 establece fomentar el desarrollo y crecimiento del mercado de biocombustibles para los productores bajo un esquema de libre competencia. El problema es que únicamente se promueve la participación de productores, dejando de lado el desarrollo de tecnologías que efficienten la elaboración de biodiésel (Riegelhaupt et al., 2016).

Sobre los artículos 6 y 7 de la LPDB, se estipula que el gobierno federal estatal y municipal impulsarán conjuntamente programas y políticas orientadas al uso de biodiésel. Inconvenientemente no se incentiva la colaboración con el sector privado, lo cual podría beneficiar a las Pymes (Sandoval, 2010).

En lo que se refiere al artículo 17, la ley establece que la Comisión Intersectorial para el Desarrollo de los Bioenergéticos (CIDB) debe instrumentar las acciones de producción de insumos para los bioenergéticos del sector agrícola, con el objetivo de crear empresas rurales e incentivar la generación de empleos, de esta forma potenciar la competitividad del sector agrícola y proteger los recursos naturales. El problema radica en la capacitación exclusiva del sector agrícola, por lo que podría haber una brecha en la creación de empresas interesadas en el desarrollo técnico para la extracción, refinamiento, almacenaje y distribución de biodiésel (Riegelhaupt et al., 2016).

El análisis y crítica a la LPDB nos parece una manera puntual de mejorar el marco jurídico del biodiésel, por lo que es necesario actualizar y mejorar los aspectos que aún no se han considerado para la aceptación del biodiésel. En términos generales la LPDB si promueve la producción de biodiésel, no obstante, la mayoría de su contenido está orientado al dinamismo del sector agrícola, dejando de lado la investigación y desarrollo de otros sectores importantes, como el desarrollo de tecnología más eficiente que consuma menos energía y pueda extraer más aceite de las semillas, o bien, la creación de bio-refinerías que busquen disminuir su impacto ambiental (Alcocer, 2014).

La ausencia de una reglamentación para el mínimo permitido en las mezclas de biodiésel y diésel es otro asunto importante que no se atiende en la LPDB, factor

que creemos sería ventajoso para PEMEX si existiera una norma para las mezclas entre biodiésel y combustible fósil, lo cual permitiría a la empresa colaborar con los objetivos de la Ley de Transición Energética sin perder participación en el mercado de los energéticos.

El problema en la consolidación de la LPDB radica en la orientación de sus objetivos, teniendo limitantes en su alcance y su aplicación, de manera que, a pesar de intentar diversificar la matriz energética, el mercado de biodiésel aun presenta incertidumbre en su legitimidad. Sobre estimular el consumo, esta ley no genera propuestas para difundir los beneficios del biodiésel o de otro biocombustible, únicamente establece las intenciones de crear espacios entre la SENER, SEMARNAT y en su momento la SAGARPA para mejorar el desempeño de la industria, más no la opinión del consumidor.

Si bien el tema de la difusión de beneficios de los biocombustibles no es abordado en la LPDB y en la LTE, sí lo hacen en términos de los Instrumentos para la Promoción de Bioenergéticos, por lo que en la siguiente parte abordaremos cuales son los mecanismos propuestos para estimular la producción del biodiesel.

#### **2.1.5 Instrumentos para la promoción de Biodiésel**

La LTE establece que los instrumentos de planeación de la política nacional de energía en materia de energías limpias para la promoción de biodiésel y de otras fuentes renovables de energía serán:

(1) Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. El propósito de este instrumento es fomentar la reducción de emisiones contaminantes y diversificar la matriz energética utilizando biodiésel y otros biocombustibles como alternativa a los combustibles fósiles. Este mecanismo de promoción busca garantizar el financiamiento de proyectos de generación de biodiésel -y otras fuentes renovables de energía- a través de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público en el Presupuesto de Egresos de la Federación otorgando financiamiento (CONUEE, 2016). No obstante, el programa no especifica con claridad de qué forma se puede contar con el financiamiento, además de sólo



hacer mención a los alcances de la colaboración entre distintos órganos de gobierno sin especificar metas y acciones precisas, es así que debería diseñarse algún manual indicativo para definir los requisitos, monto de financiamiento y de más instrucciones que los interesados en producir biodiésel deben cumplir para ser acreedores al financiamiento.

(2) Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. En materia de biodiésel, este programa se concentra en ofrecer capacitación para todo aquel especializado en el diseño, implantación y operación de proyectos de eficiencia energética, como proyectos dirigidos a la creación de plantas productoras de biodiésel (SENER, 2014). Este programa promueve la formación de especialistas en el nivel educativo superior otorgando apoyo económico a los interesados en el aprovechamiento sustentable de la energía. Sobre las empresas y profesionistas dedicados a la eficiencia energética, el programa ofrece información de apoyo de acuerdo al producto energético que la iniciativa privada esté interesada en producir, por lo que orienta y capacita al personal para hacer más eficientes los procesos de generación de biodiésel. Los mecanismos de difusión y divulgación para la promoción de biodiésel son objetivos que el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía ha establecido para mejorar la opinión de los consumidores y así fortalecer los lazos entre las empresas y sus diferentes nichos de mercado, por lo que los interesados en producir biodiésel podrían acercarse a la SENER para que se diseñen estrategias efectivas a su favor. Desfavorablemente, la efectividad de este programa radica en la iniciativa de cada empresario o individuo interesado en el biodiésel, ya que, a pesar de existir beneficios por parte de este programa, no son lo suficientemente atractivos para dirigir una cantidad significativa de inversión hacia la industria del biodiésel, de manera que para la iniciativa privada resulta más atractivo dirigir su capital a la industria eléctrica nacional.

Se estima que estos instrumentos estarán sujetos a un proceso de mejora continua y deberán ser revisados con una periodicidad anual con la participación que corresponda a la SENER, la CRE, el CENACE (Centro Nacional de Control de

Energía) y la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) (Niño et al., 2017), por lo que en teoría existirán mejores condiciones para el mercado de biodiésel.

Además de los instrumentos programáticos mencionados, la LTE contempla instrumentos financieros y de inversión, para la promoción de biodiésel y demás proyectos enfocados a las energías renovables. Así pues, la ley establece que los recursos necesarios -para que la Administración Pública Federal (APF) cumpla con las atribuciones establecidas- deberán provenir del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), de los instrumentos financieros disponibles para obras y servicios públicos y demás instrumentos que se establezcan para tales fines. Adicionalmente, dichos recursos podrán provenir de aportaciones privadas (Cámara de Diputados, 2015).

De manera específica, la LTE y la LPDB establecen fondos destinados a la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía que tienen como objeto captar y canalizar recursos financieros públicos y privados, nacionales o internacionales, para instrumentar acciones que sirvan para contribuir al cumplimiento de la estrategia y apoyar programas y proyectos que diversifiquen y enriquezcan las opciones para el cumplimiento de las Metas en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética (loc. cit.), de manera que la industria del biodiésel está inmersa en esta estrategia.

Asimismo, se crea el Financiamiento para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, cuyo objeto es contribuir a la sustitución de equipos y aparatos energéticamente ineficientes, realizar mejoras a edificaciones en las que se realice el consumo energético y la instalación de equipos económicamente viables que permitan aprovechar a los hogares las fuentes de energías renovables para la satisfacción de sus necesidades. Dicho financiamiento se materializa a través de la firma de un convenio entre el financiador (asesores, empresas comerciales o entidades financieras) y el usuario final (CONUEE, 2016). Este tipo de financiamiento otorga a las empresas productoras de biodiésel la oportunidad de renovar o ampliar la maquinaria y equipo necesario para el correcto funcionamiento

de sus operaciones, dando apertura a hacer más eficientes los procesos técnicos y de calidad.

Debido a que el biodiésel es un producto energético que disminuye las consecuencias del efecto invernadero, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) establece como instrumentos de planeación nacional la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) y los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC), por lo que la industria del biodiésel es beneficiada con estos programas (Gobierno de la República, 2013). La ENCC aborda una visión a largo plazo que promueve el uso de energías renovables para un desarrollo bajo en emisiones. Además de promover mayores ventajas e incentivos para los biocombustibles y la eficiencia energética, se aborda como pilar de la política climática nacional la necesidad de contar con políticas y acciones climáticas transversales, articuladas, coordinadas e incluyentes, sobre todo en los sectores con altos impactos climáticos negativos, como el energético (Estrada, 2019). La ENCC se plantea como objetivo acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia, mediante la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles como el bioetanol y el biodiésel, el fortalecimiento de esquemas regulatorios, institucionales y económicos y la reducción de impactos ambientales y sociales.

Por su parte, el PECC busca el desacoplamiento de las emisiones y la aceleración hacia un desarrollo bajo en carbono, promoviendo acciones efectivas con beneficios ambientales y de impacto significativo en mitigación de gases de efecto invernadero, como eficiencia energética, cogeneración y uso de biocombustibles para los distintos motores de generación eléctrica. También, como se mencionó previamente, México presentó su NDC (por sus siglas en inglés, Contribuciones Determinadas a nivel Nacional) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, mismo que representa la contribución que el país aportará a los esfuerzos globales colectivos en la lucha contra el cambio climático y dar cumplimiento al Acuerdo de París, cuyo objetivo principal es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo

sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (Gobierno de la República, 2013). Específicamente no hay una mención directa al biodiésel en la NDC de México, mayoritariamente se habla sobre la participación de las energías limpias para producir electricidad, aun así, existe la posibilidad de que los motores de combustión utilizados para producir electricidad puedan ser suministrados con biodiésel.

Por cuanto hace a los instrumentos económicos, la LGCC tiene contemplados una serie de mecanismos de financiamiento e instrumentos para financiar acciones de adaptación y mitigación, empezando por el Fondo para el Cambio Climático cuyo objeto es captar y canalizar recursos financieros públicos, privados, nacionales e internacionales, para apoyar la implementación de acciones para enfrentar el cambio climático, en ese sentido, ya sea que la actividad a realizar esté enfocada al cultivo de materia prima para producir biodiésel, o bien, a la instalación y operación de una planta de biodiésel, será posible solicitar recursos financieros (SENER, 2014).

De manera específica, el Fondo para el Cambio Climático debe destinar recursos al desarrollo y ejecución de acciones de mitigación de emisiones conforme a los PEACC particularmente en proyectos relacionados con eficiencia energética; desarrollo de energías renovables y bioenergéticos (bioetanol y/o biodiésel); y eliminación o aprovechamiento de emisiones fugitivas de metano y gas asociado a la explotación de los yacimientos minerales de carbón, así como de desarrollo de sistemas de transporte sustentable. Al respecto, la octava convocatoria del Fondo para el Cambio Climático, publicada en 2016, es la única de un total de nueve que ha buscado destinar recursos a este tipo de proyectos o actividades. Su objeto es la elaboración de un portafolio de negocios para impulsar el crecimiento verde bajo en carbono, relacionado con eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables y bioenergéticas de segunda generación. No obstante, ésta fue aplazada (Niño et al., 2017), de manera que hoy en día aún no podemos contar con este tipo de financiamiento para las operaciones de biodiésel o de alguna fuente energética limpia y renovable.

Asimismo, se faculta a la Federación y a los estados para diseñar, desarrollar y aplicar mayores y mejores instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en materia de cambio climático considerando como instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos relacionados con la mitigación y adaptación del cambio climático, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en la materia precisando que debe entenderse en cada instrumento (fiscal, financiero o de mercado) (H. Cámara de Diputados, 2013).

Con respecto a los componentes del marco jurídico, nos parece más que acertado garantizar a la ciudadanía una mejor calidad de vida, en este sentido, haciendo énfasis en la protección y conservación del medio ambiente, disminuyendo los gases contaminantes generados por los distintos motores de combustión interna utilizados por automóviles, aviones, calderas industriales, motores de generación eléctrica, etc., por lo que celebramos la creación de artículos que favorezcan la mitigación de la contaminación. La existencia de la Reforma Energética fue un cambio de dirección con respecto a la forma en que nuestro país producía y consumía energía, promoviendo la creación de leyes y programas para no sólo disminuir el efecto invernadero, sino que se elaboró una propuesta para incentivar el crecimiento económico mediante energías renovables. Es así que el biodiésel es considerado dentro de la gama de energías limpias y renovables, siendo parte de los beneficios y programas a favor de este tipo de productos.

Ahora conocemos qué leyes, instrumentos y programas promueven la industria del biodiésel en nuestro país, desgraciadamente, como se había mencionado antes, queda en la teoría y no precisamente en la práctica la promoción de este bioenergético, ya que, a pesar de existir mecanismos legales, no son lo suficientemente precisos al definir sus alcances, o bien, aun no se ha establecido formalmente un esquema legal en el que la industria del biodiésel deba establecerse en México, carecemos de metas, de cohesión ordenada entre el sector agricultor (productor de la materia prima del biodiésel) y el energético, y sobre todo de un

manual de mercado que atienda aquellos criterios que requieren mayor especificación y fomento de la competencia.

Ahora sabemos que existen financiamientos e instituciones encargadas de su promoción, existe un marco regulatorio dedicado al desarrollo del biodiésel, sin embargo, la mayor atención por parte del gobierno federal está concentrada en el mercado de hidrocarburos y en el de la industria eléctrica, delegado casi por completo una industria laxa del biodiesel a los pequeños productores, quienes con dificultad conocen los procedimientos legales y de apoyo para hacer posible cualquier proyecto relacionado con este bioenergético.

Por consiguiente, para facilitar a los interesados en el diseño y creación de proyectos dirigidos al biodiésel, se hará mención y diagnóstico sobre los permisos necesarios para producir, transportar y distribuir el biodiésel para esclarecer el escenario al que los productores se enfrentan.

## **2.2 Permisos para la creación de proyectos generadores de biodiésel**

La SENER es la máxima autoridad en materia energética en México, por lo que a través del “Acuerdo por el que se emiten los lineamientos para el otorgamiento de permisos para producir, transportar y comercializar Bioenergéticos del tipo etanol anhídrido (Bioetanol), biodiésel, bioturbosina y biogás” se estipulan todos los requisitos para realizar dichos trámites.

Es de reconocer que la SENER ha mejorado el sistema para solicitar permisos y autorizaciones de acuerdo a la actividad que se deseé realizar con respecto al biodiésel, por lo que ha disminuido tiempos de entrega, digitalizado el servicio y, además, otorgando prorrogas en caso de iniciar operaciones después de la fecha acordada con la institución.

Con el propósito de plantear el entorno sobre la autorización de permisos, nos parece pertinente redactar la información esencial, además de algunas observaciones, para apoyar a quienes se interesen en el desarrollo de alguna actividad relacionada al biodiésel, empero, definir su alcance de acuerdo a las necesidades actuales de la industria que pretendemos impulsar. A continuación, en

la Tabla 2.1 se mostrará información sintetizando los aspectos más relevantes en el mencionado documento. Por otro lado, la información contenida en dicha Tabla describirá únicamente lo relacionado al biodiésel, por lo que el resto de los bioenergéticos estarán excluidos.

**Tabla 2.1 Permisos otorgados por la SENER para la producción y comercialización de biodiésel**

<b>Capítulo Primero: Disposiciones Generales</b>		<b>Observaciones</b>
<b>PRIMERO</b>	Los presentes Lineamientos tienen por objeto establecer los procedimientos y requisitos que deberán cumplir los solicitantes para realizar el trámite para la obtención de los permisos para producir, transportar por medios distintos a ductos y comercializar bioenergéticos del tipo Etanol Anhidro (Bioetanol), Biodiésel, Bioturbosina y Biogás. Distribución y el expendio al público de bioenergéticos del tipo Etanol Anhidro (Bioetanol); Biodiésel, Bioturbosina y Biogás.	Las actividades relacionadas con los permisos son gestionadas y reguladas por la Comisión Reguladora de Energía, de manera que esta será la encargada de hacer cumplir las especificaciones expuestas en los permisos.
<b>Capítulo Segundo: I. De los Permiso</b>		<b>Observaciones</b>
<b>CUARTO</b>	La SENER otorgará los siguientes permisos: Producción de Biodiésel; Transporte por medios distintos a ductos de Biodiésel; Comercialización de Biodiésel.	Cada permiso tiene un costo individual de \$15,518.00 mxn, por lo que al compararse con otro tipo de permisos para producir energéticos se percibe viable
<b>Capítulo Segundo: II. Solicitudes de Permisos</b>		<b>Observaciones</b>
<b>QUINTO</b>	Todas las personas físicas o morales que realicen o pretendan realizar alguna de las actividades de producción, transporte por medios distintos a ductos y comercialización, sin incluir el transporte por ductos, el almacenamiento, cuando se lleve a cabo en instalaciones distintas a aquéllas en las que se realice la producción y comercialización, la	A pesar de que la CRE es la reguladora de este tipo de actividades, la dirección central corresponde a la Secretaría de Energía.

	distribución y el expendio al público, de Biodiésel requieren permiso de la SENER	
<b>SEXTO</b>	El Solicitante deberá presentar ante la Dirección General de Energías Limpias de la SENER la solicitud de permiso utilizando los formatos correspondientes para producir, transportar y comercializar biodiésel.	Debe considerarse además la comprobación de plano civil, mecánico y eléctrico para corroborar que se cuenta con las instalaciones adecuadas de acuerdo al tipo de permiso.
<b>OCTAVO</b>	el Permisionario deberá proporcionar un informe anual, en el formato que para tal efecto publicará la SENER en el Diario Oficial de la Federación anualmente y que contendrá lo relativo a las actividades de producción, transporte por medios distintos a ductos o comercialización, según sea el caso.	El propósito de dicho documento es corroborar el cumplimiento de las actividades por las cuales se elaboró el permiso. Además de mantener un registro de la actividad generada a lo largo de un año.
<b>NOVENO</b>	Para la producción, el transporte por medios distintos a ductos y la comercialización de Biodiésel, el material de los equipos, tuberías, instalaciones, tanques, contenedores y demás elementos que tengan contacto directo con dichos Bioenergéticos, deberán atender a la guía de materiales señalada en los lineamientos.	En materia de seguridad, este requisito debe cumplirse para disminuir todo riesgo en la operación de las actividades.
<b>Capítulo Tercero: I. Del Permiso para Producir Biodiésel</b>		<b>Observaciones</b>
<b>DÉCIMO</b>	El permiso para la producción de Biodiésel será otorgado para realizar las actividades y procesos necesarios para la transformación en combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, forestal, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, residuos domésticos, residuos comerciales, residuos industriales, de microorganismos y de enzimas, así como sus derivados.	El solicitante deberá presentar una solicitud de permiso por cada una de las instalaciones en las que se pretenda producir el Bioenergético. Si derivado de la actividad de producción de Biodiésel se requiere el almacenamiento del producto, éste deberá realizarse en las mismas instalaciones donde fue producido.



<b>DÉCIMO PRIMERO</b>	<p>Además de lo ya mencionado, los interesados en producir Biodiésel deberán adjuntar a su solicitud:</p> <p>I. Descripción del tipo de bioenergético que se pretende producir y del origen de los insumos empleados para tal efecto.</p> <p>II. Listado de instalaciones, equipos, maquinaria, insumos y procesos que serán utilizados para producir y almacenar el Bioenergético.</p>	<p>Las especificaciones de la materia prima y la tecnología permiten establecer a la CRE y la SENER si el solicitante aplicará los criterios aprobados para la producción del biodiésel.</p>
<b>Capítulo Tercero: II. Del Permiso para transportar por medios distintos a ductos</b>		<b>Observaciones</b>
<b>DÉCIMO SEGUNDO</b>	<p>El permiso abarca las actividades de la recepción y traslado de un punto a otro por cualquier tipo de vehículo, excepto por ducto, y que no conlleve su enajenación o comercialización de ninguna naturaleza.</p>	<p>Esta forma de traslado es la más común de acuerdo a los productores ya registrados ante la CRE y SENER.</p>
<b>DÉCIMO TERCERO</b>	<p>Los Solicitantes de permisos para el transporte por medios distintos a ductos deberán ajustarse a las disposiciones que les resulten aplicables en lo que se refiere al transporte de materiales y residuos peligrosos.</p>	<p>Es decir, deben ajustarse a la normatividad establecida para el correcto manejo y traslado del biodiésel.</p>
<b>DÉCIMO CUARTO</b>	<p>Los solicitantes deberán presentar la información siguiente:</p> <p>I. Listado de vehículos organizado por tipo de bioenergético transportado.</p> <p>II. Plantilla del personal que transportará el Biodiésel con copia de sus licencias de conducir vigentes al momento de la solicitud.</p> <p>III. Descripción de los Bioenergéticos que se pretenden transportar. Tal descripción deberá realizarse mediante la NOM-018-STPS-2000.</p> <p>IV. Los solicitantes deberán acatar las Normas Oficiales Mexicanas aplicables al permiso de transporte de Biodiésel.</p> <p>V. Documentos que comprueben la viabilidad técnica, como: permisos de la SCT de los vehículos y tanques que se pretenden utilizar en</p>	<p>La SENER ofrece asesorías para determinar con precisión los requerimientos de este listado, de manera que facilita el cumplimiento de las normas mexicanas, de cualquier manera éstas serán expuestas en los siguientes apartados.</p>

el transporte.  
 VI. Documentos que comprueben la viabilidad económica como: Corrida financiera del proyecto, o Estados Financieros Dictaminados.

<b>Capítulo Tercero: III. Del Permiso para Comercializar Biodiésel</b>		<b>Observaciones</b>
<b>DÉCIMO QUINTO</b>	<p>El permiso para la comercialización será otorgado para enajenar y entregar Biodiésel en uno o varios lugares fijos, quedando excluido el expendio al público, que son actividades reguladas por la Comisión Reguladora de Energía, por lo que cualquier persona física o moral que pretenda realizar dichas actividades debe tramitar los permisos respectivos ante dicha autoridad.</p>	<p>En caso de que, el almacenamiento se realice en otras instalaciones distintas a donde se comercialice o no se pruebe la legal posesión de las mismas y ser parte inherente a la actividad de comercialización, se deberá tramitar un permiso de almacenamiento de bioenergéticos ante la Comisión Reguladora de Energía.</p>
<b>DÉCIMO SEXTO</b>	<p>Los solicitantes de permisos para la Comercialización de Bioenergéticos deberán presentar lo siguiente:</p> <p>I. Tipo(s) de bioenergético(s) que se comercializarán.</p> <p>II. Descripción detallada de los bioenergéticos que se comercializarán, de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000.</p> <p>III. En caso de que se incluya la actividad de almacenamiento deberá adjuntar el domicilio de cada uno de los lugares o instalaciones en que se pretendan enajenar y/o entregar los bioenergéticos asociados a esta solicitud.</p>	<p>La SENER ofrece asesorías para determinar con precisión los requerimientos de este listado, de manera que facilita el cumplimiento de las normas mexicanas, de cualquier manera éstas serán expuestas en los siguientes apartados.</p>
<b>Capítulo Tercero: IV. Del aviso de exención para un permiso de Producción de Biodiésel</b>		<b>Observaciones</b>

DÉCIMO  
SÉPTIMO

Quedan exentos de permiso de Producción, aquellos productores cuya capacidad de producción sea menor o igual a 500 litros diarios o su equivalente y cuenten con una capacidad de almacenamiento menor o igual a 1000 litros o su equivalente.

Siempre que las actividades se realicen en el mismo lugar y que el bioenergético producido tenga las siguientes características:  
A) Producido en una planta piloto de investigación.  
B) Su utilidad sea para autoconsumo.

**Capítulo Cuarto: Procedimientos de Evaluación y Autorización de Solicitudes**

**Observaciones**

DÉCIMO  
NOVENO

El otorgamiento del permiso correspondiente se realizará por parte de la SENER de la forma siguiente:

- 1) Emitirá la resolución que corresponda conforme los siguientes plazos:
  - a) Para los permisos de producción de biodiésel, la resolución se emitirá dentro de los 18 días hábiles siguientes al de la recepción de la solicitud.
  - b) Para los permisos de comercialización de biodiésel, la resolución se emitirá dentro de los 15 días hábiles siguientes al de la recepción de la solicitud.
  - c) Para los permisos de transporte por medios distintos a ductos de biodiésel, la resolución se emitirá dentro de los 15 días hábiles siguientes al de la recepción de la solicitud.
- 2) Si la solicitud no cumple con los requisitos exigidos por la Ley, la SENER deberá prevenir al Solicitante de conformidad con lo previsto por la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.
- 3) Una vez notificada la prevención a que se refiere el párrafo anterior, se suspenderá el término para que la SENER resuelva.
- 4) Si el solicitante omite desahogar la prevención en el término señalado o no subsana la omisión correspondiente, la solicitud será desechada.

Esta actividad es indispensable para el Project Manager, ya que los tiempo de entrega y resolución de documentos puede demorar más de lo establecido, por lo que reduciría el calendario de obra del proyecto, o bien, cualquier otro trámite con alguna otra institución federal como la SEMARNAT, por lo que es necesario establecer un programa de acción para evitar dificultades en el inicio de obra.

<b>Capítulo Quinto: Del Aviso de Inicio de Operaciones, las Verificaciones Subsiguientes y las Prórrogas o Ampliaciones de Vigencia de los Permisos</b>		<b>Observaciones</b>
<b>VIGÉSIMO</b>	Los Permisarios para la producción, el transporte por medios distintos a ductos y la comercialización de bioenergéticos deberán presentar el Aviso de Inicio de Operaciones a más tardar treinta días hábiles previos al inicio de operaciones.	
<b>VIGÉSIMO PRIMERO</b>	Los Permisarios deberán anexar al Aviso de Inicio de Operaciones la póliza de seguro de responsabilidad civil.	
<b>VIGÉSIMO TERCERO</b>	El plazo máximo para presentar el Aviso de Inicio de Operaciones será de treinta y seis meses posteriores al otorgamiento del permiso respectivo.	De no iniciar operaciones en la fecha establecida será necesarios solicitar una prórroga para evitar sanciones por parte de la institución encargada del trámite.
<b>VIGÉSIMO CUARTO</b>	La vigencia de los permisos será de 30 años de conformidad con el artículo 37 del Reglamento, los Permisarios podrán solicitar una prórroga de sus permisos presentando una solicitud ante la SENER por lo menos seis meses antes del vencimiento del permiso.	
<b>VIGÉSIMO QUINTO</b>	Los Permisarios podrán solicitar a la SENER la transferencia de sus permisos, así como la modificación de los términos y condiciones de los mismos por el aumento de capacidad en las instalaciones, equipos y procesos previstos en el permiso correspondiente.	

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Energía.

La tabla anterior además de ser útil para aquellos interesados en proyectos de inversión dirigidos a esta actividad, es también una herramienta para informar sobre los deberes y obligaciones que todo productor de biodiésel debe seguir, ya que actualmente existen diferentes centros de venta no autorizados alrededor de la República Mexicana, quienes además de no contar con la acreditación de la CRE,

ofrecen al público productos no relacionados al biodiésel o algún otro biocombustible, de manera que dañan los motores de los consumidores, afectan la opinión pública, generan mayores gases contaminantes y, además, en materia económica se sobreponen a los productores autorizados por la Comisión, ofreciendo un producto a menor precio sin contar con los requisitos de seguridad para su producción, almacenamiento, traslado y venta.

El efecto de no atender adecuadamente este fenómeno, radica en el hecho de que la Secretaría de Medio Ambiente de cada entidad desaconseje el uso y/o mezclado de biodiesel en general, afectando a los productores certificados dentro de la región donde se restrinja su uso. De acuerdo con Urtusuástegui, (2018), se reconoce la existencia de competidores en el mercado de biodiésel y bioetanol, sin embargo, la mayor parte de los competidores no poseen los permisos y autorización para realizar las actividades relacionadas con esta industria y, por otro lado, quienes poseen las autorizaciones no garantizan la experiencia suficiente para ofrecer un producto altamente de calidad, es necesario identificar a aquellos productores quienes han realizado investigaciones previas, o bien, demostrado experiencia en el uso y tratamiento de carburantes, alcoholes para autos y combustión vehicular.

Es importante definir quiénes son los productores de primera mano, así el consumidor podría adquirir un producto a menor precio (derivado de la inexistencia de intermediarios) y, sobre todo, destacar a los productores que cumplen con los requerimientos establecidos por la SENER, abriendo oportunidades para la creación de nuevas plantas productoras en más regiones del país.

En relación a lo anterior, todos los productores autorizados establecidos de biodiesel deben contar con la certeza jurídica para hacer valer su derecho como empresa certificada, de manera que de no existir en términos fiscales la aplicación de las leyes que defienden el Cambio Climático, la promoción del biodiésel, y la seguridad y protección del consumidor, el breve impulso que la industria del biodiésel ha alcanzado a lo largo de la última década, se verá debilitada por la nula actuación de los organismo gubernamentales.

Siguiendo con el cumplimiento de las normas jurídicas, a continuación presentaremos las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad y seguridad que deben cumplirse para asegurar que las instalaciones de las plantas generadoras de biodiésel sean aprobadas por el SENER y la CRE, a medida que tanto los usuarios como los futuros inversionistas podamos establecer el criterio para reconocer qué tipo de establecimientos garantizan el bienestar de sus colaboradores y de los consumidores.

### **2.3 Normas Oficiales Mexicanas para todo proyecto relacionado con el Mercado de Biodiésel**

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son especificaciones técnicas para cumplir con la regulación y protección para toda persona relacionada con una actividad específica, en el caso de la industria del biodiésel, este tipo de Normas puntualizan las medidas de salubridad y resguardo que todos los implicados en esta actividad deben seguir. Cada NOM debe ser aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Prevención y Control de Enfermedades (CCNNPCE), una vez aprobadas son publicadas en el Diario Oficial de la Federación. La actualización y revisión de cada NOM se realiza cada cinco años desde su creación, por lo que se decidirá su ratificación, modificación, o en su defecto, la cancelación (Huerta, 1998).

En la siguiente sección mostraremos todas las NOM relacionadas con la producción y almacenamiento, transporte y comercialización del biodiésel. Nuestro objetivo será indicar todos los aspectos de seguridad que la industria de este bioenergético debe cumplir, además de determinar si existen brechas que aún deben de cubrirse. Debe considerarse esta sección como una versión sintetizada de todas las normas aplicadas al biodiésel, ya que es necesario examinar con atención los documentos emitidos por la SENER para no incurrir en multas o clausura de plantas productoras, este apartado sólo pretende facilitar a los interesados los requerimientos mínimos para la creación de proyectos relacionados al biodiesel.

## 2.2.1 Producción y almacenamiento de biodiésel

La producción y almacenamiento del biodiésel son las actividades más populares en la industria de este bioenergético, ya que la mayoría de las empresas registradas sólo elaboran y/o acumulan el biodiésel para investigación, o bien, para consumo propio. En la Tabla 2.2 se encuentran todas las NOM relacionadas a la producción y almacenamiento, mencionando las condiciones de seguridad, higiene, prevención y protección contra todos los posibles riesgos dentro de una planta o laboratorio relacionados al biodiésel, haciendo énfasis en el manejo de material químico peligroso y la prevención de incendios. Es importante mencionar que quien dará seguimiento y control a la aplicación de estas normas será la Secretaría del Trabajo y Previsión Social debido a que la mayoría de las normas para este apartado están enfocadas a la seguridad de los trabajadores.

*Tabla 2.2 Normas Oficiales Mexicanas aplicables al permiso para Producir y Almacenar biodiésel*

<b>Normas Oficiales Mexicanas</b>	<b>Definición</b>
<b>NOM-001-STPS-2008</b>	Regula las condiciones de seguridad e higiene en todos los edificios, locales, instalaciones y áreas de los centros de trabajo.
<b>NOM-002-STPS-2010</b>	Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.
<b>NOM-004-STPS-1999</b>	Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.
<b>NOM-005-STPS-1998</b>	Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
<b>NOM-006-STPS-2014</b>	Manejo y almacenamiento de materiales, así como condiciones y procedimientos de seguridad.
<b>NOM-009-STPS-2011</b>	En materia de prevención de riesgos relacionados con los trabajos en alturas o trabajos verticales.
<b>NOM-010-STPS-2014</b>	Establece los procesos y las medidas para prevenir riesgos a la salud del personal ocupacionalmente expuesto a agentes químicos contaminantes del medio ambiente laboral y la metodología para realizar el reconocimiento, la evaluación y control.

<b>NOM-017-STPS-2008</b>	En materia de selección, uso y manejo de equipo de protección personal en los centros de trabajo.
<b>NOM-018-STPS-2000</b>	Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
<b>NOM-019-STPS-2011</b>	Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.
<b>NOM-020-STPS-2011</b>	Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas-Funcionamiento-Condicionamiento de seguridad.
<b>NOM-022-STPS-2015</b>	Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.
<b>NOM-025-STPS-2008</b>	Establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.
<b>NOM-026-STPS-2008</b>	Establecer los requerimientos en cuanto a los colores y señales de seguridad e higiene y la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
<b>NOM-029-STPS-2011</b>	Establecer las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas.
<b>NOM-030-STPS-2009</b>	Establecer las funciones y actividades que deberán realizar los servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir accidentes y enfermedades de trabajo.
<b>NOM-001-SEDE-2012</b>	Esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta norma no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER, STPS y Diario Oficial de la Federación.

En términos generales, las NOM establecidas para la producción y almacenamiento de biodiésel abarcan cabalmente las medidas de mitigación de riesgos, sus



alcances son suficientes para otorgar a los trabajadores un ambiente adecuado de trabajo.

En cuanto a las modificaciones y aportes más recientes, se mejoraron los procesos para evitar exponer a los operadores de las plantas de biodiésel a las emisiones tóxicas que puedan surgir en la producción, además, en lo que almacenamiento se refiere, los materiales necesarios para contener el biodiésel ahora exigen una mejor especificación técnica para conservar la calidad del producto y evitar el derrame.

Ahora bien, a pesar de contar con medidas de seguridad, las NOM aplicables a la producción y almacenamiento de biodiésel no consideran normas para asegurar la eficiencia energética en los procesos de producción y, sobre todo, no exige el cumplimiento de normas para atender derrames en diferentes superficies de suelo, por lo que es recomendable incorporar a su listado la NOM-147-SEMARNAT-2004, la cual relata las especificaciones y medidas de protección del suelo al existir un derrame en el suelo, con el objetivo de mitigar cualquier efecto negativo al ambiente y controlarlo adecuadamente (SEMARNAT, NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, 2007) y, por último, creemos que se podría agregar normas específicas correspondientes al almacenamiento y tratamiento del Aceite Residual. Es así que a pesar de encontrar algunas áreas en las deberían aplicarse otras NOM, las normas que actualmente existen garantizan el correcto funcionamiento de las operaciones de la planta.

### **2.2.2 Transporte de biodiésel**

Como se había mencionado anteriormente, la mayoría de las empresas productoras se dedican a la investigación y autoconsumo, haciendo que el transporte de biodiésel sea uno de los permisos menos solicitados en comparación a la producción y almacenamiento, aun así, existe otra actividad que no se contempla dentro de los permisos relacionados a la industria del biodiesel, nos referimos al transporte de Aceite Residual. Esta labor no está gestionada por la SENER, debido a que se trata de un residuo no directamente relacionado con el sector energético, por lo que únicamente las Secretarías de Medio Ambiente de los

Estados de la República, se encargan de definir los criterios para el transporte y manejo de grasas y aceites de origen animal y vegetal.

Para la Ciudad de México la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) exige el cumplimiento de la Norma Ambiental NADF-012-AMBT-015, la cual determina los criterios para el manejo y transporte de grasas y aceites de origen animal y vegetal, así como el Aceite Residual generado en la Ciudad. Esta norma fomenta la separación y aprovechamiento de los residuos, además de especificar los métodos para el almacenamiento y prevención de esta biomasa. Sobre la recolección de Aceite Residual, la NADF-012-AMBT-015 establece que el interesado deberá contar con el Registro y Autorización de Establecimientos Mercantiles y de Servicios para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial (RAMIR) y en su defecto obtener la Licencia Ambiental Única (LAUDF) (SEDEMA, 2018). Dicho lo anterior, para transportar aceite y grasas animales se requiere asistir a las instituciones ambientales de cada entidad, por lo que una vez cubierto tal requisito, los productores de biodiésel podrán asegurar el suministro de materia prima.

En caso de sólo dedicarse al transporte de biodiésel, las normas emitidas por la secretaria ambiental no serán aplicable para su desarrollo, por lo que desde ahora nos concentraremos en los NOM que le competen (Véase Tabla 2.3)

**Tabla 2.3 Normas Oficiales Mexicanas aplicables al permiso de transporte por medios distintos a ductos de biodiésel.**

Normas Oficiales Mexicanas	Definición
<b>NOM-002-SCT/2011</b>	Tiene como objetivo identificar y clasificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados, de acuerdo a su clase, división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas
<b>NOM-003-SCT/2008</b>	Establece las características, dimensiones, símbolos y colores de las etiquetas que deben portar todos los envases y embalajes, que identifican la clase de riesgo que representan durante su transportación y manejo las sustancias, materiales y residuos peligrosos.

<b>NOM-004-SCT/2008</b>	Establece las características y dimensiones de los carteles que deben portar las unidades vehiculares, camiones, unidades de arrastre, autotanques, carrotanques, contenedores, contenedores cisterna, tanques portátiles y recipientes intermedios para granel y demás unidades de autotransporte y ferrocarril, a fin de identificar la clase de riesgo de las sustancias, materiales o residuos peligrosos que se transportan.
<b>NOM-005-SCT/2008</b>	Establecer los datos y especificaciones que debe contener la Información de Emergencia para el Transporte de Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos, que indique las acciones a seguir para casos de incidente o accidente (fugas, derrames, explosiones, incendios, exposiciones, etc.), que debe llevar toda unidad de transporte, durante el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos, en bolsa o carpeta-portafolios en un lugar accesible de la unidad, retirada de la carga.
<b>NOM-010-SCT2/2009</b>	Establece las disposiciones de compatibilidad y segregación, que deben aplicarse para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos, debidamente envasados y embalados, a fin de proteger la seguridad de las personas y sus bienes, así como el medio ambiente y las vías generales de comunicación.
<b>NOM-019-SCT2/2004</b>	Establecer las disposiciones generales para efectuar el lavado y descontaminación de las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos, así como la información que como mínimo deberá contener el documento que acredite este proceso.
<b>NOM-024-SCT2/2010</b>	Establecer las disposiciones generales y especificaciones que se deben cumplir para la construcción, reconstrucción y reacondicionamiento de los envases y/o embalajes, incluyendo los de socorro, que se utilizan para la transportación de sustancias, materiales y residuos peligrosos, así como los métodos de ensayo (prueba) a que deben ser sometidos.
<b>NOM-028-SCT2/2010</b>	Establecer las disposiciones especiales y generales, así como determinar el tipo y grupo de envase y/o embalaje, para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la Clase 3 líquidos inflamables.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER, SCT y Diario Oficial de la Federación.

Las NOM aplicadas al transporte de biodiésel cumplen con las medidas de seguridad que demanda la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) y la industria de hidrocarburos, por lo que son completamente aplicables y suficientes para garantizar la prevención de riesgos y control de accidentes, contemplando el derrame y la exposición a materiales peligrosos, por lo que no se carece de medidas preventivas, ya que el mercado de hidrocarburos ha sido una actividad desarrollada por nuestro país desde hace varios años. Únicamente habría que contemplar el cumplimiento de las normas ambientales cuando se trate de transportar grasas y aceites de origen animal y/o vegetal.

### 2.2.3 Comercialización de biodiésel

De acuerdo con el permiso relacionado con la comercialización de biodiésel, en el Capítulo Tercero sección III (Véase Tabla 2.1), se estipula que la SENER únicamente dará autorización para la venta de biodiesel en lugares fijos, por lo que queda excluido la venta en estaciones de servicio como si lo hacen algunas empresas dedicadas a la comercialización de gasolina y diésel, la venta de biodiésel en estaciones de servicio será una actividad gestionada por la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, de momento la única manera de ofrecer biodiésel al consumidor final es mediante galones de biodiésel. Bajo ese esquema las NOM aplicables a la comercialización de biodiésel están enfocadas a la venta del bioenergético dentro de las instalaciones de la planta productora, o bien, en algún local comercial, por lo que su distribución se hace más relevante y necesaria para hacer llegar el producto hasta los consumidores, a menos que se pretenda efectuar la venta únicamente en la planta. Pensando en la comercialización en la planta productora, la SENER estableció las siguientes NOM (Véase Tabla 2.4).

**Tabla 2.4 Título NOM aplicables a la comercialización de BD**

Normas Oficiales Mexicanas	Definición
NOM-002-STPS-2010	Establecer los requerimientos para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

<b>NOM-004-STPS-1999</b>	Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo.
<b>NOM-005-STPS-1998</b>	Establecer las condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y evitar daños al centro de trabajo.
<b>NOM-006-STPS-2014</b>	Establecer las condiciones de seguridad y salud en el trabajo que se deberán cumplir en los centros de trabajo para evitar riesgos a los trabajadores y daños a las instalaciones por las actividades de manejo y almacenamiento de materiales, mediante el uso de maquinaria o de manera manual.
<b>NOM-010-STPS-2014</b>	Establecer los procesos y medidas para prevenir riesgos a la salud del personal ocupacionalmente expuesto a agentes químicos contaminantes del ambiente laboral.
<b>NOM-017-STPS-2008</b>	Establecer los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud.
<b>NOM-018-STPS-2000</b>	Establecer los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, que de acuerdo a sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición, puedan afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo.
<b>NOM-019-STPS-2011</b>	Establecer los requerimientos para la constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.
<b>NOM-020-STPS-2011</b>	Establecer los requisitos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas en los centros de trabajo, a fin de prevenir riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones.

<b>NOM-022-STPS-2015</b>	Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática.
<b>NOM-025-STPS-2008</b>	Establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.
<b>NOM-026-STPS-2008</b>	Establecer los requerimientos en cuanto a los colores y señales de seguridad e higiene y la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
<b>NOM-029-STPS-2011</b>	Establecer las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas.
<b>NOM-030-STPS-2009</b>	Establecer las funciones y actividades que deberán realizar los servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir accidentes y enfermedades de trabajo.
<b>NOM-001-SEDE-2012</b>	Esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta norma no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

Fuente: Elaboración propia con información de SENER, STPS y Diario Oficial de la Federación.

Como puede apreciarse, todas las NOM relacionadas con la comercialización de biodiésel son las mismas utilizadas en el esquema de producción y almacenamiento, lo cual está correlacionado con el hecho de que donde se produce el biodiésel también se puede efectuar su comercialización, por lo tanto, si el productor asegura el cumplimiento de las normas con facilidad cubrirá los requerimientos para la comercialización, cumpliendo sin dificultad las condiciones de trabajo que exige la STPS, en nuestra opinión, debido a que se carece de estaciones de servicio, las NOM exigidas por la SENER son más que suficientes para garantizar la seguridad para los colaboradores, y el espacio público.

Es necesario establecer criterios para en un futuro permitir la comercialización en estaciones de servicio, creemos que la cooperación entre Centros de Investigación, la SENER y la CRE podría efectuar una estructura sólida para que a medida que se

promueva más el uso y mezclado del biodiésel, resultando en un complemento adecuado a la industria de los hidrocarburos y reducir los contaminantes ocasionados por la combustión de los automotores.

## Conclusiones

El marco jurídico en México a lo largo de los años ha promovido la protección ambiental buscando asegurar la calidad de vida de todos los ciudadanos, por ello la exigencia de los artículos constitucionales (1,4,25,26,124) ayudará en la disminución de la contaminación, además de lo anterior, durante la última década se implementó la Reforma Energética, la cual trajo consigo leyes de promoción a las energías limpias y renovables, incentivando la inversión privada en este sector.

Podemos decir que en México existen instrumentos jurídicos para promover el mercado de biodiésel, ya que se ha gestado la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, la cual estipula los mecanismos e instrumentos establecidos por diferentes órganos de gobierno para promover el uso de bioenergéticos, y por supuesto, al mercado de biodiésel.

El problema surge al intentar aplicar correctamente la normatividad, ya que, en la actualidad, existen comerciantes no registrados ante la SENER ofreciendo un producto no certificado a un menor precio que los productores acreditados, sin las condiciones físico-químicas necesarias para ser llamado biodiésel, provocando avería en las máquinas de los consumidores, desfavoreciendo la opinión pública y provocando un aumento en la emisión de contaminantes en el ambiente.

No hay estímulos fiscales para la producción de biodiésel, por lo que los impuestos son aplicables a los empresarios a pesar de interesarse en una actividad impulsada por la Reforma Energética. Tratándose de impuestos, desafortunadamente al precio de venta al usuario final es aplicable el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), por tanto, la oportunidad para aumentar la utilidad neta de los empresarios se verá disminuida.

Los instrumentos para la promoción de biodiésel no son exclusivos para este bioenergético, ya que los recursos disponibles propuestos por las leyes (LTE, LPDB y LGCC) están disponibles para todas las actividades relacionadas con energías renovables, lo cual entendemos democrático más no equitativo, ya que la industria de hidrocarburos y la industria eléctrica son de mayor interés para los inversionistas,



debido a ser mercados mejor desarrollados y con mayor tiempo en la estructura económica del país.

Sobre las posibilidades de mezclado entre diésel y biodiésel de acuerdo a las formulas B6 o B20, la SENER y la CRE no han establecido normas de calidad para el mezclado de ambos productos, por lo que la incorporación del biodiésel al diésel es responsabilidad única del consumidor, corriendo el riesgo de no combinar el biodiésel al diésel en proporciones adecuadas a las normas internacionales propuestas por al ASTM.

La posición por parte del Gobierno Federal en términos energéticos está enfocada en la reactivación de la industria de hidrocarburos y el fortalecimiento de las instituciones públicas como Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad, dejando de lado los objetivos propuestos en la Reforma Energética y la LTE para diversificar la matriz energética del país, y por ende aprovechar los recursos naturales para la industria del biodiésel. Es así que, no ha habido modificaciones o mejoras en la gestión del marco jurídico a favor del biodiésel, por lo que se prevé una aplicación laxa de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Bajo este esquema sugerimos la cooperación entre promotores (investigadores, productores y empresarios) de biodiésel y representantes de los órganos de gobierno (como la SENER, CRE, SHCP, SE y SEMARNAT), para que mediante el dialogo mejoren sus condiciones de competencia, se establezcan medidas de prevención para evitar la venta ilícita de productos no certificados (anunciados como bioenergéticos) y el cumplimiento a la ley, se definan criterios de mezclado para B6 y B20, disminuir los impuestos exigidos a las actividades relacionadas con el biodiésel, dirigir recursos exclusivos para este mercado, y sobre todo, definir un Manual de Competencia de Bioenergéticos para mejorar la percepción de la iniciativa privada y demostrar que el mercado de biodiésel puede tener impactos positivos en el desarrollo económico del país.

## **Capítulo 3: Elementos para la evaluación del mercado de Biodiésel**

En este capítulo se mostrará el escenario internacional del mercado de biodiésel en el mundo, señalando a los principales países productores y exportadores, además de definir la tendencia global. Continuaremos identificando las barreras que limitan el desarrollo del mercado de biodiésel en México, por lo que esta sección integrará elementos económicos, políticos, sociales, legales y ambientales, con el propósito de determinar los mayores problemas a los que se enfrenta este mercado. Se expondrá el comportamiento y dinámica sobre el volumen y precio de venta del diésel para posteriormente integrarlo al análisis de costos del biodiésel; lo anterior, con el fin de precisar si hoy en día el biodiésel puede competir por precios con el diésel fósil.

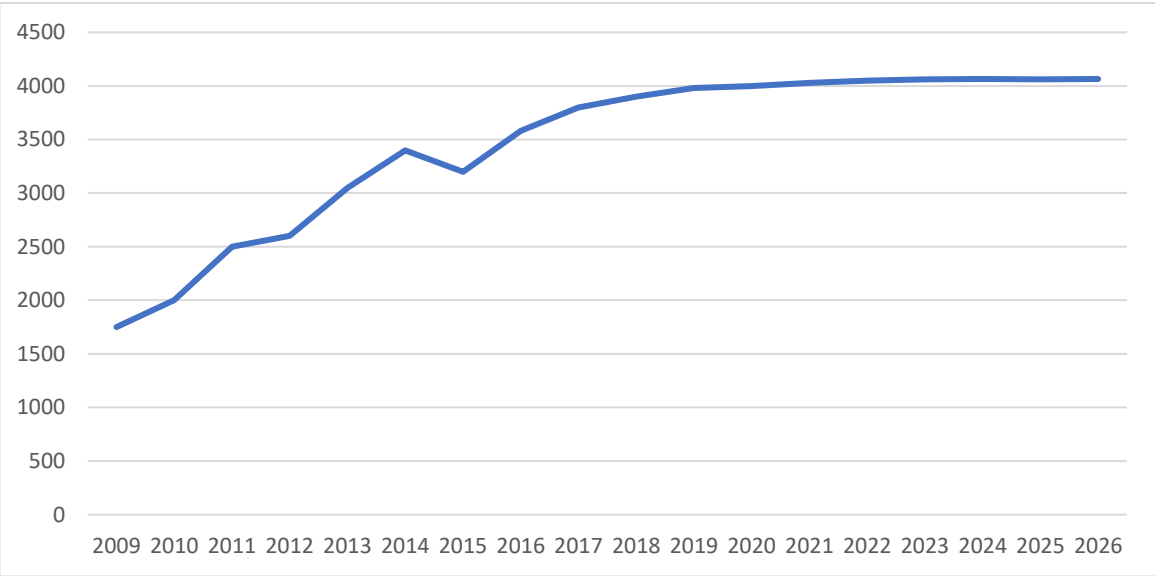
Con el objetivo de conocer mejor el mercado de biodiésel, se identificarán a todas las empresas que han tramitado permisos para producir, transportar y comercializar biodiésel en México, por lo que nos dará una referencia de qué tipo de empresas son las que actualmente se encuentran en el mercado. Además de lo anterior, se definirán las curvas de oferta y demanda del biodiésel para entender mejor el dinamismo del mercado. Finalmente, se construyó un modelo financiero para identificar el nivel de rentabilidad de una empresa hipotética que se dedica a la producción y comercialización de biodiésel, tomando en cuenta datos de primera mano de centros de investigación y empresas dedicadas a esta actividad

### **3.1 Elementos internacionales**

El biodiésel es un combustible producido y consumido por diferentes países del mundo, sobre todo en aquellos en los que han encontrado un sistema económico que permita elevar su crecimiento, dinamizar la relación entre el sector agrícola e industrial, además de crear procesos de innovación tecnológica. En el año 2019 se produjeron más de 35 mil millones litros de biodiésel, siendo Estados Unidos el mayor productor de este biocombustible, seguido por, Brasil, Indonesia, Alemania, Francia y Argentina (OCDE, 2017). El aumento de la producción y la creciente demanda ha permitido generar comercio internacional entre diferentes naciones

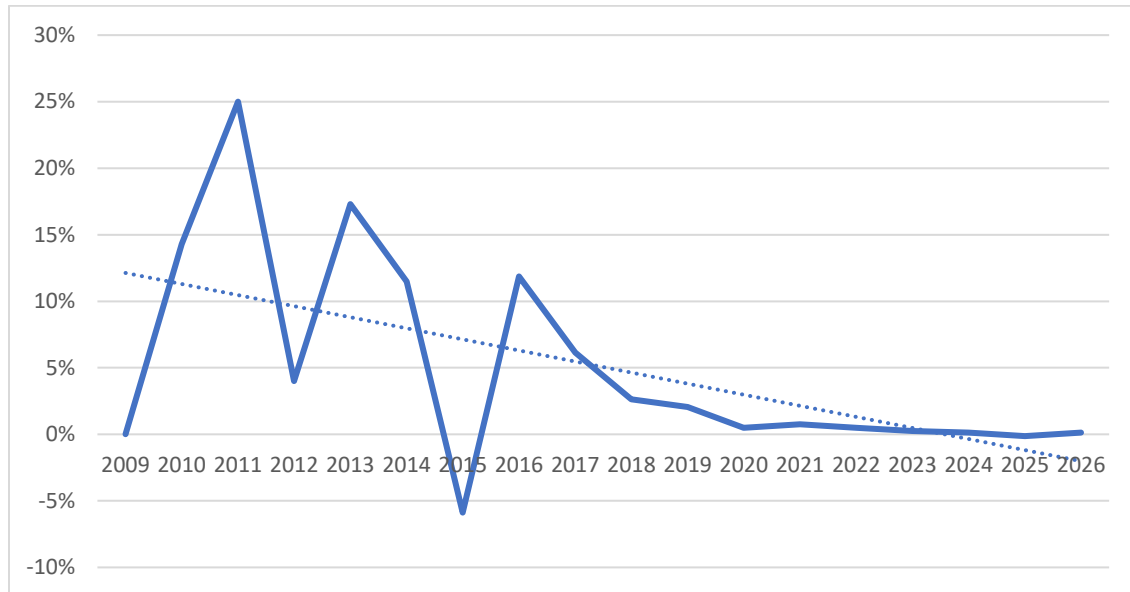
para satisfacer las necesidades de combustible, en este sentido, Argentina ha aprovechado su infraestructura nacional y política para convertirse hoy en día en el exportador número uno de biodiésel (IMP, 2018). De acuerdo con la Gráfica 3.1, la producción mundial de biodiésel ha aumentado cada año durante el periodo 2004-2020, exceptuando el año 2015. Por otro lado, la tasa de crecimiento anual (TCA) de la producción mundial de biodiésel dibuja una tendencia negativa, por lo que a pesar de que se aumenta año con año la producción de biodiésel, el dinamismo de la producción mundial se ha desacelerado (Véase Gráfica 3.2).

**Gráfica 3.1 Producción mundial de biodiésel (miles de millones de litros)**



Fuente: Elaboración propia con datos de la OCDE (2017)

**Gráfica 3.2 TCA Producción mundial de biodiésel**



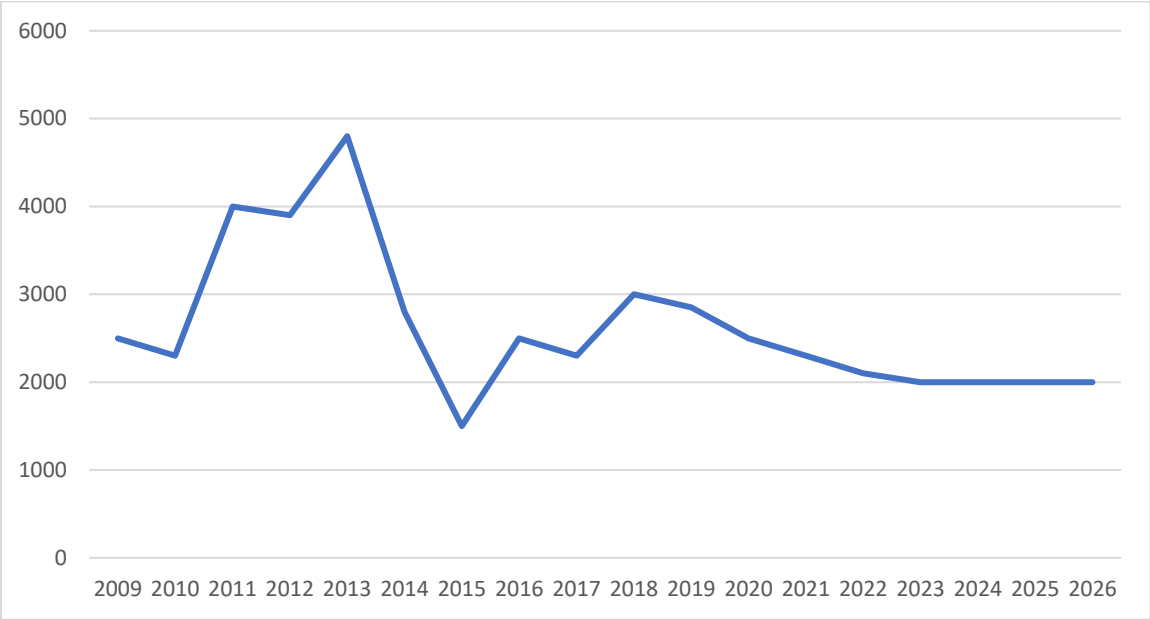
Fuente: Elaboración propia con datos de la OCDE (2017)

Durante el 2013 la Unión Europea estableció disminuciones en los apoyos económicos aplicados a la producción de biodiésel, además de restricciones comerciales para la importación no sólo de biodiésel, sino de otro tipo de biocombustibles utilizados en Europa, por lo que la producción de Argentina también sufrió disminuciones importantes (Alcocer, 2014). En el 2017 el mercado europeo modificó la política comercial creando una nueva apertura para la importación de biodiésel lo que estimuló la producción de Argentina y del mundo (López, 2019). De acuerdo con la OCDE (2017), se espera que para el 2023 la producción mundial de biodiésel alcance los 40 mil millones de litros, sin embargo, esto no significa que para los siguientes años el crecimiento aumente favorablemente.

Ahora bien, en cuanto al comercio internacional de biodiesel se refiere, durante el periodo 2009-2019 la mayor cantidad de litros comercializados se registró durante el 2013, con una venta cercana a los 4800 millones de litros, lo que hasta entonces, ha sido la mayor cifra comercial internacional para el biodiésel, ya que al observar la Gráfica 3.3, después del 2013 la cantidad disminuyó hasta su mínimo en el 2015 en un 46% respecto al año anterior derivado de las restricciones comerciales europeas (Véase Gráfica 3.4). En el año 2018 la industria internacional se recuperó,

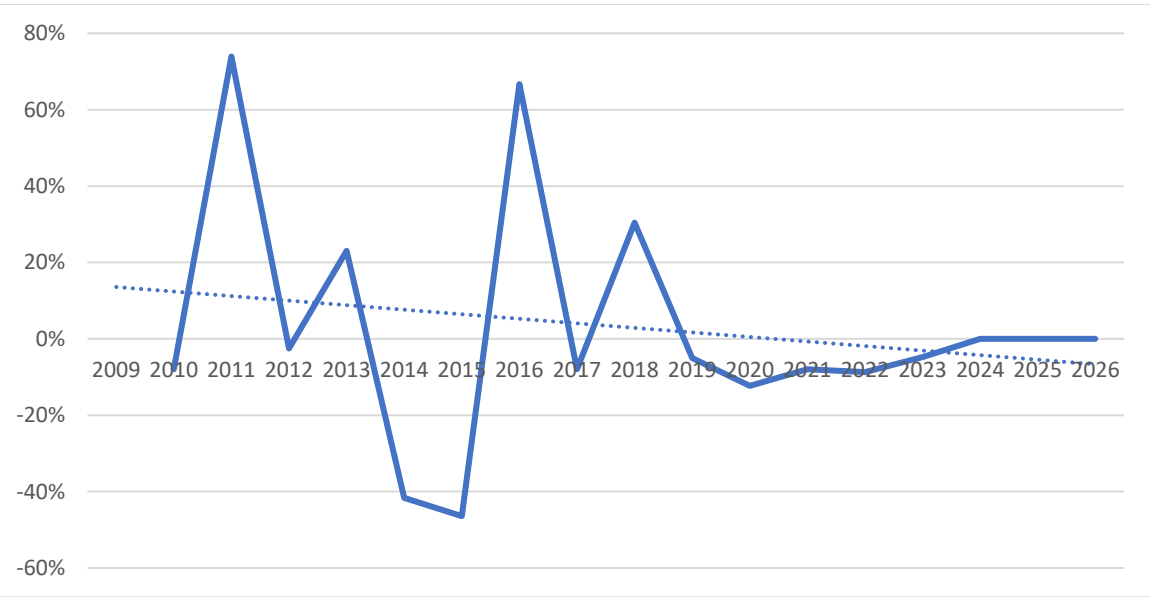
sin embargo, su dinamismo se prevé en desaceleración de acuerdo a las estimaciones de la OCDE durante los años 2020-2026.

**Gráfica 3.3 Comercio mundial de biodiésel (miles de millones de litros)**



Fuente: Elaboración propia con datos de la OCDE (2017)

**Gráfica 3.4 TCA Comercio mundial de biodiésel**



Fuente: Elaboración propia con datos de la OCDE (2017)

Al contrastar la información entre la producción anual y el comercio internacional de biodiésel, podemos notar que los países productores utilizan en mayor medida el

biocombustible para satisfacer las necesidades internas. Por otro lado, debido a los esfuerzos de la comunidad europea y de algunos otros países del mundo por disminuir los GEI, podrían presentarse modificaciones favorables en cuanto a política comercial en el mediano plazo, beneficiando en su mayoría a los principales países exportadores (Argentina, Canadá y Malasia), quienes han mejorado su estructura de exportación con respecto a sus competidores internacionales; después de todo el biodiésel es una alternativa dentro del esquema de transición energética global.

Una vez analizado la tendencia del mercado internacional de biodiésel, es pertinente destacar las principales dificultades en el mercado nacional, por lo que en el siguiente apartado ubicaremos las barreras que limitan el desarrollo de la industria del biodiésel en México.

### **3.2 Barreras que limitan el desarrollo del mercado del biodiésel**

Para mejorar el desempeño del mercado de biodiésel, es necesario identificar y eliminar las barreras que limitan su crecimiento, para lo cual se analizaron las barreras del tipo económico, político, social, legal y ambiental.

Las barreras económicas están relacionadas con el acceso a créditos y financiamientos, el aumento de inversión y el involucramiento de compañías que demanden altos niveles de combustible para satisfacer sus necesidades (Ríos, et al., 2017)

Sobre las barreras políticas, éstas están relacionadas con la iniciativa y compromiso de los distintos niveles de gobierno, ya que derivado de las políticas públicas propuestas por instituciones u organizaciones públicas se podría promover el uso de biodiésel con mayor eficiencia. Sin embargo, la dirección en materia energética que involucre a las energías limpias y renovables, en ocasiones está muy apartada de los objetivos de la administración pública.

En el caso de las barreras sociales, éstas consideran la opinión de las comunidades y el impacto que el biodiésel podría generar en éstas, por lo que es necesario considerar si existen riesgos a la salud, a la seguridad industrial y a la disposición a

utilizar este producto energético eficientemente, es decir, asegurarse que el biodiésel no dañe la maquinaria en propiedad de los individuos (loc. cit).

En materia legal, a pesar de que ya se habló de ello en el capítulo 2, esta barrera señala las restricciones en materia tecnológica, el uso adecuado de la energía en la industria, al igual que los permisos y explotación de recursos naturales expresado en la manifestación de impacto ambiental.

Finalmente, las barreras de tipo ambiental señalan el impacto que el mercado de biodiésel pudiera presentar, ya sea en las zonas naturales protegidas, la explotación de recursos forestales, el manejo inadecuado del cambio de usos de suelo, la expulsión de especies de flora y fauna, etc.

### **3.2.1 Barreras económicas**

En este apartado señalamos dos tipos de barreras en el mercado actual de biodiésel en México, incluyendo:

- a) el mercado poco desarrollado, y
- b) la reducida capacidad de procesamiento de aceite en la mayoría de las plantas comerciales de México.

Entendemos que existen empresas orientadas a la recolección de aceite residual y animal para la fabricación de biodiésel, pero su alcance comercial no es lo suficiente para asegurar en el mediano o largo plazo que la rentabilidad sea suficiente para atraer inversión. Según Ríos et al. (2017) se debe al limitado conocimiento técnico de los requerimientos de desempeño y calidad de los motores y, por otro lado, a que la industria del automóvil en México no ha determinado las condiciones para el uso de biodiésel puro y/o mezclado con el diésel en el diseño de sus motores y componentes mecánicos, provocando que los consumidores no se inclinen por el consumo de biodiésel en sus automóviles.

Para suprimir esta barrera, se propone colaborar conjuntamente entre gobierno y la industria del automóvil para comunicar eficazmente información técnica sobre los beneficios del biodiésel y sus diferentes mezclas en los motores de los fabricantes.

Con la sinergia entre la industria automotriz, ingenieros expertos y el gobierno federal, deberán realizar programas de difusión que aseguren la confiabilidad del consumidor e incentivar la demanda tanto de la industria automotriz como del biodiésel. En este sentido, el gobierno federal, reconociendo las virtudes del biodiesel, podría crear programas de verificación vehicular tan accesibles como para los vehículos eléctrico e híbridos, mejorando la opinión del consumidor y sesgando sus preferencias hacia vehículos que utilicen biodiésel. La modificación tecnológica representaría un impacto positivo en los consumidores que buscan adquirir automóviles que generen menos emisiones contaminantes, por lo que el sector de la población que no puede adquirir automóviles eléctricos, debido a su alto costo, por ello, muchos individuos se inclinan por la compra de automóviles que consuman biodiesel.

Existe otra razón por la que el mercado de biodiésel no se ha desarrollado exitosamente en México, lo cual deriva en los precios de diésel y biodiésel, ya que el precio de venta de este último no ha sido competitivo en años anteriores, por lo que los usuarios finales optan por consumir un producto que no sólo es más barato, sino también, resulta confiable y fácil de acceder a él. De acuerdo a las entrevistas realizadas a productores de biodiésel, de existir alguna forma de exención por parte del gobierno federal para eliminar el Impuesto Especial Sobre Productos y Servicios (IEPS) en la compra de biodiesel, el producto será mucho más competitivo frente al combustible fósil, y de esta forma mejorará su demanda.

En cuanto a la reducida capacidad de procesamiento de aceite de las plantas productoras en México, es evidente que se necesita promover la inversión para crear plantas de mayor capacidad. Bajo esta premisa, la producción de biodiésel podría aumentar una vez que se canalicen fondos de inversión exclusivos para esta actividad, haciendo que el volumen de producción aumente consistentemente (SENER-IMP, 2017). No obstante, no sólo es necesario el capital para incrementar la capacidad de producción, también es necesario contemplar la ubicación estratégica para que la materia prima pueda trasladarse con facilidad hacia las biorefinerías y de esta manera disminuir los costos. En este sentido la colaboración



entre agricultores orientados a cultivos energéticos, planificación estratégica de inversión y el desarrollo técnico contribuirían a la disminución de los costos de producción significativamente. A todo esto, se observa la profunda necesidad de programas públicos que otorguen los instrumentos para hacer del biodiésel un producto altamente competitivo.

### 3.2.2 Barreras políticas

Las barreras políticas son un obstáculo que varía de acuerdo a la dirección de la administración federal en el poder, por lo que a continuación se relatarán algunas de las barreras que han dificultado el desarrollo del mercado de biodiésel.

- a) Incertidumbre política, descalificación de la Reforma Energética.
- b) Postura a favor de productos energéticos contaminantes

Desde el cambio de gobierno en México, el sector energético se ha caracterizado por mantenerse en la incertidumbre debido a la posición conservadora del Ejecutivo frente al uso de energías renovables en el país, aunado a ello, la suspensión de las subastas de petróleo y gas han desacelerado la inversión privada. De acuerdo con Petersen (2020), el gobierno actual busca fortalecer a las empresas estatales de energía mediante la eliminación de regulaciones asimétricas de combustible. Por otro lado, la CRE concedió a Pemex el requisito de combustible para la venta de diésel contaminante en diferentes regiones del país, se anuló el convenio que establecía el control de precios del combustible producido en PEMEX, lo que otorga a PEMEX el establecer el precio a sus competidores.

Para el naciente mercado de energías renovables, la cancelación de la cuarta subasta de energía a largo plazo en el 2019 desalentó la iniciativa de crear proyectos relacionados con la generación eléctrica y la producción de biocombustibles. Favorablemente, Petersen (2020) afirma que las necesidades energéticas de México son lo suficiente grandes como para detener la inversión en este tipo de energías.

La certidumbre del marco regulatorio de la Reforma Energética es una situación que también hace dudar a la iniciativa privada; esto es justificado por la iniciativa de

SENER al modificar los lineamientos de los Certificados de Energías Limpias (CEL); lo anterior, con el objetivo de incluir a las centrales hidroeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Con la reforma energética instaurada en 2013, los CEL buscaban promover la creación de proyectos de generación de energía limpia cumpliendo con el objetivo de producir energía limpia de acuerdo al consumo nacional (Nava, 2019). De acuerdo con Nava & Villamil (2020), México necesita dar claridad en las políticas, regulaciones y negocios del sector energético.

Con lo anterior podemos notar que la posición de la administración actual se concentra en la generación y promoción de opciones energéticas contaminantes eliminando el fomento a las energías limpias y renovables, fundamentado en el uso de combustóleo, gasolina, diésel y carbón para generar energía (Rosas, 2020).

De mencionarse los Acuerdos de París, la actual dirección en materia energética no cumplirá con sus objetivos, ya que, mientras el promedio global de América Latina en generación de energías renovables alcanza el 50%, México está lejos de alcanzar un 25% (Rodríguez, 2018).

Consideramos que es una amplia prioridad diversificar la matriz energética de México, por lo que a pesar de reconocer que es necesario fortalecer las empresas estatales para ofrecer mejores productos energéticos a la población, es determinante continuar impulsando el uso de energías renovables como el biodiésel, siendo que este producto puede acompañar a los planes de consumo de combustible mientras se consigue la transición energética a tecnologías 100% limpias. Por ahora, la incertidumbre política, el temor de los inversionistas y la postura a favor de energéticos contaminantes no dan elementos suficientes para incentivar el desarrollo de un mercado de biodiésel lo bastante sólido como para generar su competencia frente al diésel.

### **3.2.3 Barreras sociales**

Socialmente el biodiésel puede representar un producto que impacte positivamente a la sociedad, ya que el desarrollo de un mercado estable de biodiésel promovería el empleo, la certificación de personal altamente calificado, la

disminución de GEI, mayores ingresos para el sector agrícola, mejora de la calidad de vida de los individuos involucrados en el mercado, y en general un dinamismo favorable para la economía mexicana. Sin embargo, la desconfianza de los usuarios no permite reconocer al biodiésel como un combustible fácilmente mezclado al diésel, y mucho menos como un futuro sustituto de este hidrocarburo.

Coincidiendo con otras barreras del mercado de biodiésel, la difusión y aplicación adecuada de la calidad de este biocombustible mejoraría la opinión de los consumidores, por lo que necesitamos estrategias para generar confianza tanto en los consumidores finales como en toda industria donde el biodiésel pueda aplicarse.

Según Ríos et al. (2017), la creación de portales electrónicos con información confiable que ayude a identificar proveedores acreditados por la SENER y la CRE, documentando la regulación y el desarrollo del mercado de biodiésel en otros países, así como la evidencia de la colaboración entre la industria automotriz, provocaría una mayor certeza y confianza en los consumidores de todo el país.

La participación de instituciones públicas y privadas mejorarían la opinión pública e incentivarían el fortalecimiento de un sector productivo prometedor.

### **3.2.4 Barreras legales**

De acuerdo con SENER-IMP, (2017), se han identificado dos tipos de barreras que dificultan el crecimiento del mercado de biodiésel en México.

- a) La definición del tipo de cultivos energéticos especialmente utilizados para la producción de biodiésel, sin afectar el desempeño de la industria de alimentos.
- b) La ausencia de aplicación fiscal eficiente para que los fabricantes de biodiésel cumplan con las características físico-químicas establecidas en las normas mexicanas e internacionales, asegurando un producto certificado y de calidad para el consumidor.

Es necesario un acuerdo a nivel federal que establezca los cultivos exclusivos para la producción de biodiésel, de lograrse, facilitaría el financiamiento de cultivos

energéticos, la logística de recolecta y tratamiento de biomasa, y por ende la producción de este biocombustible. Sabemos que al día de hoy el aceite residual y las grasas animales son utilizados para la fabricación de biodiésel, sin embargo, considerar únicamente a estos dos elementos como única fuente de materia prima es económicamente ineficiente. Por ello, el mercado de biodiésel necesita de una estructura de cultivos energéticos que satisfagan la demanda de aceite virgen derivado de oleaginosas (Ganduglia, 2009). En este sentido, la calidad del biodiésel será cada vez mejor.

Los aceites extraídos de la higuera, jatropha y palma, así como otros cultivos no utilizados por la industria alimentaria son considerados como apropiados para la fabricación de biodiésel (SAGARPA, 2016). Una vez que se defina el tipo de cultivos exclusivos para el biodiesel, los agricultores podrían especializarse en la producción de materia prima de calidad, mejorarían su acceso a créditos y rentabilidad, así como la participación responsable sobre el cuidado del medio ambiente.

Ahora bien, tratándose del seguimiento fiscal para asegurar la calidad del biodiésel para su venta, la SENER, la CRE, PEMEX, la SEMARNAT e incluso la PROFECO deben de asegurar la fabricación correcta de biodiésel, ya que no puede llamarse a todo compuesto derivado del aceite y mezclado con alcohol como biodiésel, éste debe cumplir con las normas mexicanas e internacionales para asegurar el correcto funcionamiento de los motores, además de no aumentar las emisiones de GEI (IMP, 2016), por lo que es necesario exigir a los funcionarios de éstas instituciones, el cumplimiento de las normas de calidad, ambientales y de competencia. Esto último se menciona porque de existir productores no certificados, venderían un producto no calificado a menor costo y con un potencial riesgo para la salud, lo cual además de afectar al desarrollo del mercado del biodiésel, e impactaría negativamente en la opinión social.

### **3.2.5 Barreras ambientales**

Las operaciones que el mercado de biodiesel debe llevar a cabo en materia ambiental consiste en minimizar el impacto de la actividad industrial, sobre todo tratándose de la gestión de riesgos ambientales, hídricos y climáticos, por lo que se

debe proteger la biodiversidad donde la actividad del mercado de biodiesel se presente, promoviendo la economía circular (Alcocer, 2014). En este apartado únicamente buscamos generar conocimiento sobre los lineamientos que deben cumplir para asegurar que los proyectos relacionados con el mercado de biodiésel no dañen el ecosistema.

Todo proyecto en construcción por ley debe presentar una manifestación de impacto ambiental ante la SEMARNAT, de manera que se identifique los efectos que puedan ocasionarse durante el desarrollo, construcción y operación de biorefinerías, plantas de producción y almacenamiento, así como toda instalación relacionada con el proceso de producción, distribución y venta de biodiésel (SEMARNAT, 2019). Por otro lado, la caracterización del cambio del uso de suelo y el aseguramiento de las especies debe ser obligación de los actores que participen en el mercado de biodiésel.

Cualquier violación a la conservación del ambiente no sólo impactaría a la sociedad y a la biodiversidad, si no que económicamente existirán multas significativas que dañarían la imagen pública y las finanzas de la empresa, perdiendo así la confianza de los consumidores y contradiciendo uno de los objetivos principales por los que el biodiésel se presenta como un producto energético sustentable, la conservación del medio ambiente.

Continuando con el análisis económico del biodiésel, la sección siguiente tratará de instruir sobre el dinamismo del volumen de ventas y precios del diésel, con el objetivo de establecer el nivel de precios con los que la industria del biodiésel se enfrenta.

### **3.3 Dinamismo del mercado de diésel**

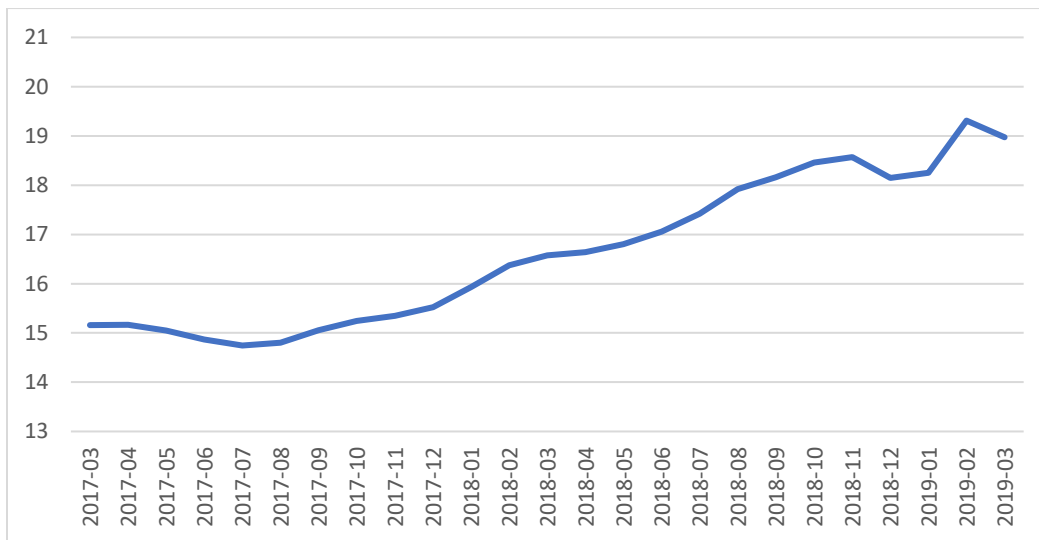
En los apartados siguientes mostraremos los niveles de precio de venta de primera mano y precio en estaciones de servicio del diésel, así como su tendencia durante el periodo 2017-2019, apoyándonos en información publicada por la CRE y PEMEX. Nuestro objetivo es estudiar la dinámica de mercado del diésel para identificar si el biodiésel tendrá posibilidades de competir contra este hidrocarburo.

### 3.3.1 Precios y volumen de ventas del diésel

Como se había mencionado, identificar el comportamiento de los precios del diésel resulta necesario para generar estrategias de mercado a favor del biodiesel. En ese sentido, la Gráfica 3.5 muestra el comportamiento de los precios de venta de primera mano del litro de diésel durante el periodo marzo-2017 a marzo-2019.

De acuerdo a este ejercicio, durante los últimos años, el precio del diésel se ha caracterizado por tener un crecimiento constante con una tendencia positiva, iniciando en marzo de 2017 con un precio promedio de \$15.16 pesos y finalizando en marzo 2019 en \$18.97. Durante el último trimestre de 2017, el crecimiento del precio de venta de primera mano aumentó significativamente, ya que la tendencia de los meses anteriores mantenía un crecimiento de precios mayormente estable, por lo que hasta principios del 2019 esta aceleración se percibe controlada.

**Gráfica 3.5 Precio de venta de primera mano del diésel (MXN).**

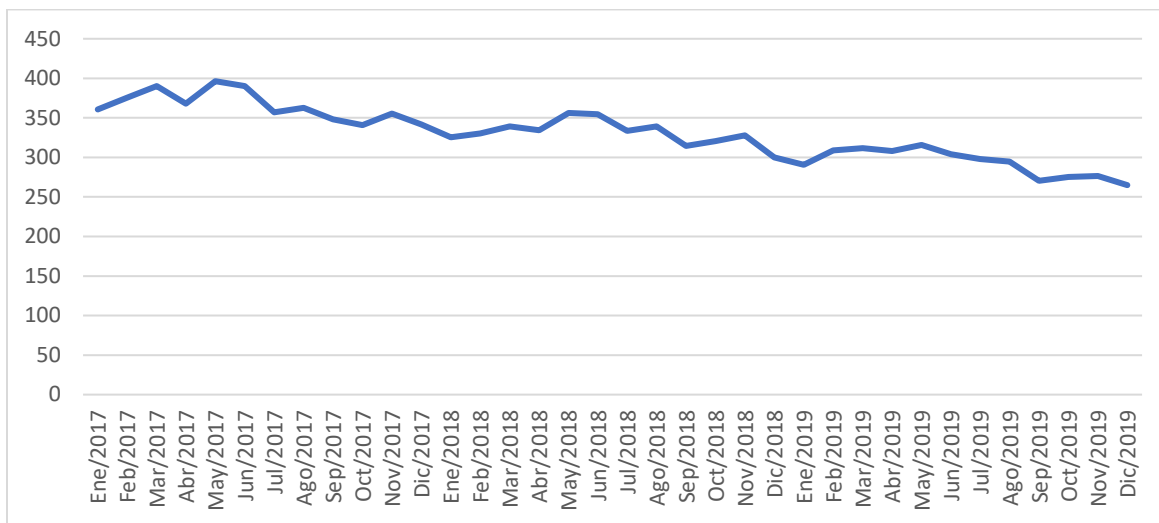


Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX y la CRE.

Sobre el volumen de ventas del diésel, podríamos tener una noción de su comportamiento al observar la Gráfica 3.6, en donde se indica una tendencia negativa dentro del periodo enero 2017 a diciembre de 2019. Para enero de 2017 la cantidad promedio de barriles vendidos se registró en 360,681.6, mientras que en diciembre de 2019 su venta cayó hasta un promedio mensual de 264,906.2. Según la tasa de crecimiento para esta variable, el descenso fue de -0.85%. Es necesario

expresar que la información de la Gráfica 3.6 contiene información de los barriles importados y vendidos al interior del país, por lo que la demanda nacional de diésel entre el 2017 y el 2019 disminuyó.

**Gráfica 3.6 Promedio mensual de barriles diarios vendidos, enero 2017 a diciembre 2019 (miles de barriles)**



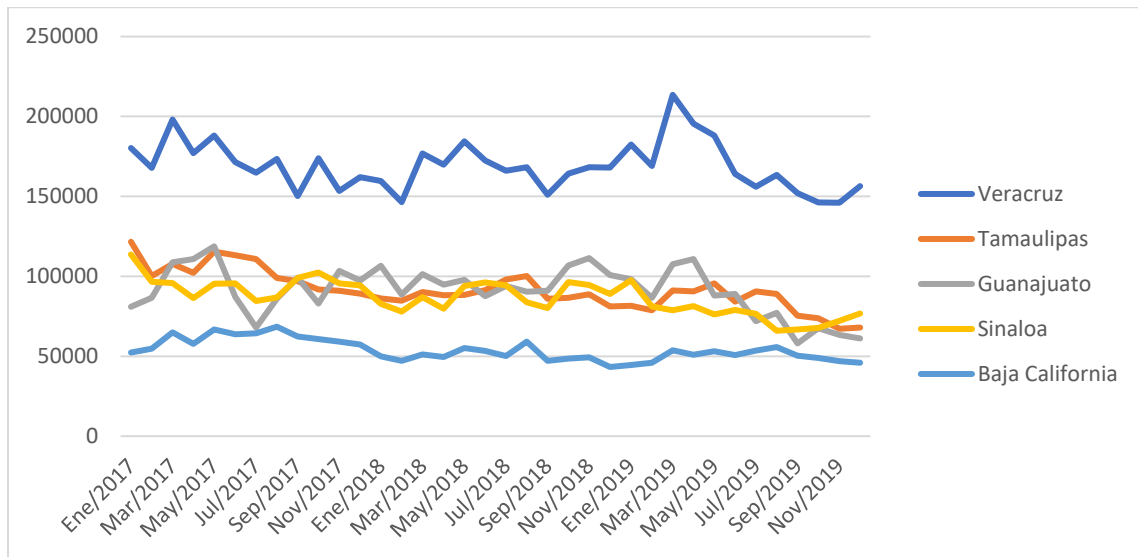
Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética (SIE) y PEMEX.

Según información de Villarín (2019), Pemex importó 898,458 barriles de petrolíferos diarios en febrero de 2018, lo cual significó una disminución del 12% sobre importación, y confirma la contracción que se dibuja en la Gráfica. Continuando con lo dicho por Villarín (2019), el país dejó de exportar 100,000 barriles al día, coincidiendo con la estrategia para combatir el robo de combustible iniciado a finales de 2018, afectando al suministro de las estaciones de servicio y al suministro adquirido del exterior.

De acuerdo con datos oficiales, en el caso del volumen de ventas por entidad federativa durante el periodo enero 2017 a diciembre 2019, las entidades con mayores ventas fueron: Veracruz, Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa y Baja California. En la Gráfica 3.7 y 3.8 vemos la trayectoria de cada uno de estos estados, además de los siguientes en la lista como los mayores vendedores de barriles por día, cabe señalar que el Estado de México y la CDMX ocupan el lugar 12 y 16 respectivamente. Sin embargo, por interés particular en estas dos últimas entidades

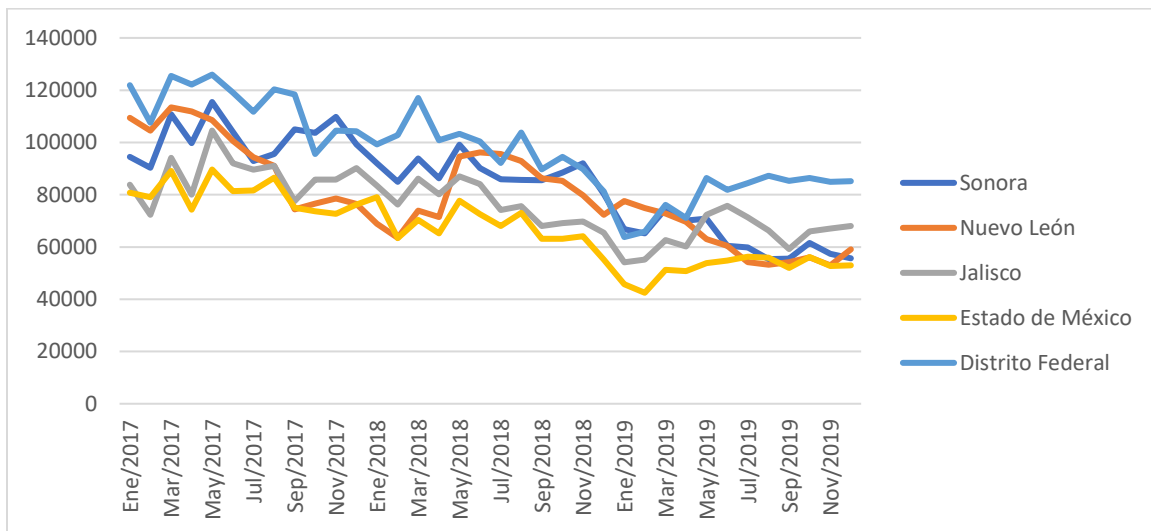
se estudiarán sus resultados. Por otro lado, la información muestra el promedio mensual del volumen de ventas diario de cada entidad.

**Gráfica 3.7. Promedio mensual del volumen de venta diaria de barriles de diésel, 2017-2019 (m<sup>3</sup>)**



Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, la CRE y SIE.

**Gráfica 3.8 Promedio mensual del volumen de venta diaria de barriles de diésel, 2017-2019 (m<sup>3</sup>)**



Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, la CRE y SIE.

Reconocemos que durante el periodo 2017-2019 existió una disminución en las ventas, pero, la demanda del diésel se encontró con escasez por problemas en la distribución. Por otro lado, el precio de venta de primera mano de este hidrocarburo

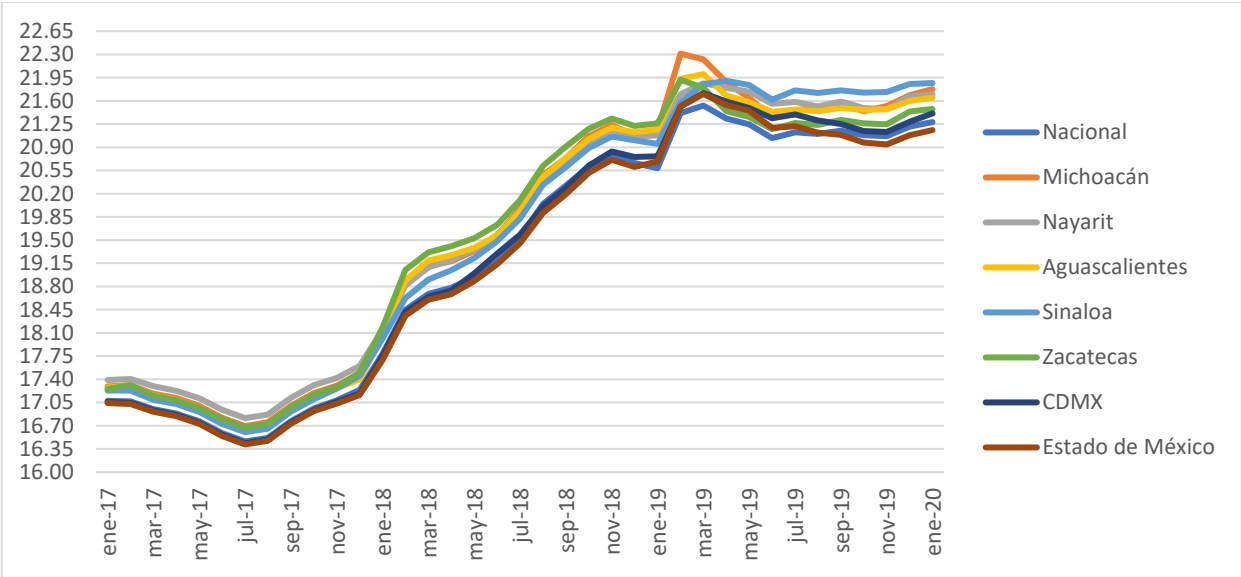


se ha mantenido al alza, indicando que su demanda seguirá en aumento, y en consecuencia, beneficiando a la industria del biodiésel. Lo anterior provocará que el aumento de los precios de primera mano del diésel, motiven a los productores ya establecidos de biodiésel a ofrecer su producto como una alternativa al desabasto de combustible y al aumento de sus precios.

**3.3.2 Precio del diésel en estaciones de servicio**

Gracias a la información adquirida por medio de la CRE, se calculó el promedio mensual del precio del diésel en las estaciones de servicio de toda la República, de manera que la Gráfica 3.9 muestra la trayectoria de precios a lo largo del periodo enero 2017 a enero 2020. A pesar de ello, en este caso sólo se mostrará información de las cinco entidades con mayores precios a lo largo del periodo de análisis, apreciando también el comportamiento de los precios promedio en la CDMX y el Estado de México.

**Gráfica 3.9: Precios del diésel en estaciones de servicio de enero 2017 a enero 2020 (MXN)**



Fuente: Elaboración propia con información de la CRE.

En términos generales podemos identificar un alza en los precios del diésel, además, es posible apreciar algunas pequeñas disminuciones durante periodos

cortos. Por otro lado, a partir septiembre de 2017 los precios de este combustible crecieron aceleradamente, rebasando el costo de producción y el precio de venta del biodiésel (el cual se expondrá en el siguiente apartado). Para el primer semestre del 2019 el crecimiento acelerado de los precios del diésel se redujo, por lo que ahora su crecimiento se ha mantenido controlado.

En la Tabla 3.1 podemos corroborar la tendencia de cada una de las entidades expuestas en la Gráfica 3.9; en este caso, se muestra que la tasa de crecimiento mensual del 2018 fue la más alta en relación al 2017 y 2019. La Tabla 3.1 también indica el precio anual promedio de las entidades con mayores precios a lo largo del 2017-2019, señalando que Aguascalientes, Michoacán, Nayarit, Sinaloa y Zacatecas han mantenido los precios de venta del diésel por arriba del total nacional, siendo únicamente la CDMX la entidad que ha colocado precios cercanos al promedio nacional.

**Tabla 3.1 Tasa de crecimiento mensual y promedio anual, 2017 a 2019**

<b>Año</b>	<b>2017</b>		<b>2018</b>		<b>2019</b>	
<b>Entidad</b>	<b>TCM</b>	<b>Promedio Anual MXN</b>	<b>TCM</b>	<b>Promedio Anual MXN</b>	<b>TCM</b>	<b>Promedio Anual MXN</b>
<b>Nacional</b>	<b>0.081%</b>	<b>16.86</b>	<b>1.258%</b>	<b>19.48</b>	<b>0.251%</b>	<b>21.16</b>
<b>Aguascalientes</b>	0.059%	17.06	1.322%	19.90	0.168%	21.56
<b>Ciudad de México</b>	0.060%	16.84	1.309%	19.49	0.207%	21.33
<b>Edo. México</b>	0.060%	16.82	1.278%	19.39	0.159%	21.21
<b>Michoacán de Ocampo</b>	0.095%	17.10	1.270%	19.89	0.202%	21.65
<b>Nayarit</b>	0.102%	17.21	1.246%	19.87	0.231%	21.59
<b>Sinaloa</b>	0.107%	17.02	1.288%	19.75	0.351%	21.69
<b>Zacatecas</b>	0.116%	17.07	1.294%	20.05	0.071%	21.39

Fuente: Elaboración propia con datos de la CRE.

Analizando este ejercicio definimos una oportunidad para la venta del biodiésel, además de ello, con los datos de la tabla anterior podría iniciarse una estrategia para colocar plantas de producción de biodiésel en las entidades donde los precios

del diésel son más altos al promedio nacional, aunque se tendría que desarrollar la logística correcta para asegurar la materia necesaria, puesto que su recolección y costos aun representan un factor que podría elevar el precio del biodiésel, de cualquier manera, la tendencia de los precios del diésel a la alza nos ofrece un escenario optimista para la promoción del mercado de biodiésel y su mayor aceptación.

A continuación, se expondrán los costos promedio en la producción de biodiésel, estableciendo en definitiva si el biodiésel hoy en día puede competir en relación a los precios del diésel.

### **3.4 Dinamismo del mercado de biodiésel**

Una vez definido la dinámica del mercado del diésel, al menos desde la perspectiva de precios y volumen de venta en México, damos apertura al estudio del dinamismo de mercado del biodiésel, donde a partir de ahora, analizaremos los costos de producción, la dimensión del mercado y el comportamiento de la oferta y demanda del biodiésel. Nuestro propósito es precisar las características básicas del mercado de biodiésel.

#### **3.4.1 Costos de producción del biodiésel**

Analizando los costos productivos internacionales, el costo de las materias primas resulta ser el componente más elevado para todos los países productores, lo cual coincide con el caso mexicano, según Riegelhaupt et al., (2016), entre el 75% a 85% de los costos es empleado para la compra de materia prima.

Si bien sabemos que es posible producir biodiésel utilizando distintas fuentes de materia prima, en México se fabrica mediante aceite residual y aceite vegetal puro. A pesar de ello, debido al alto costo de las materias primas para elaborar aceite vegetal exclusivo para este biocombustible, la mayoría de las empresas produce usando aceite residual como materia prima.

Dentro del esquema de producción con base en aceite residual podemos identificar a cuatro agentes principales (Riegelhaupt et al., 2016).

1. Productores de materia prima: son todos aquellos consumidores de aceite vegetal comestible para elaborar alimentos, la separación del aceite de los alimentos y la recuperación son actividades importantes para definir la calidad de la materia prima.
2. Recolectores: en ellos recae la responsabilidad de trasladar el aceite residual acumulado por los productores de materia prima, la eficiencia con la que realicen esta operación influirá en los costos finales.
3. Acopiadores y procesadores: reúnen grandes cantidades de aceite residual para su refinamiento, además de que este tipo de actores, la gran mayoría también pueden encargarse de la producción, distribución y comercialización.
4. Elaboradores de biodiésel: son los actores especializados en la transformación del aceite en biodiésel a través de la transesterificación. La producción, distribución y venta del producto y subproductos del biodiésel (glicerina) son parte de sus actividades.

Considerando que en México la materia prima más popular empleada para fabricar biodiésel es el aceite residual y que este hito (materia prima) representa el costo más elevado durante todo el proceso de producción por litro, de acuerdo a las investigaciones de Odenthal et al., (2016) podemos sintetizar el análisis de costos en dos esquemas:

- A. El aceite residual es llevado a la planta, por lo que la empresa paga a todo recolector que entregue el aceite en las instalaciones de la empresa.
- B. La recolección del aceite residual es una actividad de la empresa productora, por lo que debe pagar a todo aquel que genere la materia prima.

Para el esquema A, la Tabla 3.2 presenta el costo de cada uno de los elementos que intervienen en la producción de biodiésel por litro. Cabe mencionar que la información resulta del promedio de diferentes plantas productoras del país, por lo que es posible que exista generalidades y cierta diferencia entre los resultados de este esquema vs los costos de una planta en particular, después de todo, la

tecnología empleada, la capacitación del personal y la eficiencia energética del proceso de producción de cada planta puede hacer la diferencia.

**Tabla 3.2 Costo de producción promedio de biodiésel (Esquema A).**

<b>Esquema A</b>		
<b>Costos de producción</b>	<b>Monto (MXN/L)</b>	<b>%</b>
<b>Aceite residual</b>	8.50	62%
<b>Materiales</b>	1.50	11%
<b>Energía</b>	0.60	4%
<b>Operación y mano de obra</b>	2.30	17%
<b>Mantenimiento</b>	0.90	7%
<b>Total</b>	<b>13.8</b>	<b>100%</b>

\*El concepto "materiales" se refiere al costo de catalizadores y alcoholes empleados en la producción.

Fuente: Elaboración propia con datos del CMP+L, GRIMA, FUEL FLEX, SENER y REMBIO.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, podemos notar que el costo total promedio de producir biodiesel corresponde a un total de \$13.80 pesos por litro, siendo la materia prima el elemento con un mayor porcentaje con respecto al total de los costos (62%), seguido por la operación y mano de obra con un 17% y 11% para los materiales utilizados en la producción.

Bajo el esquema B, sumamos los costos referentes a la recolección de aceite residual. Los costos de recolección son el agregado de costos de combustible y mantenimiento del vehículo, no obstante, se debe considerar que la distancia entre la planta y los sitios donde se recolecte el aceite están relacionados al consumo de combustible. Por tanto, en la Tabla 3.3 se detalla el promedio de los valores de las variables asociadas con este esquema.

**Tabla 3.3 Costo de producción promedio de biodiésel (Esquema B)**

<b>Esquema B</b>		
<b>Costos de producción</b>	<b>Monto (MXN/L)</b>	<b>%</b>
Recolección	3.60	32%
Aceite residual	2.50	22%
Materiales	1.50	13%
Energía	0.60	5%
Operación y mano de obra	2.30	20%
Mantenimiento	0.90	8%
<b>Total</b>	<b>11.4</b>	<b>100%</b>

\*El concepto “materiales” se refiere al costo de catalizadores y alcoholes empleados en la producción.

Fuente: Elaboración propia con datos del CMP+L, GRIMA, FUEL FLEX, SENER y REMBIO.

Para el caso del esquema B, el total de los costos de producción promedio del biodiésel fue \$11.40 pesos, en donde el porcentaje mayor de esta cantidad lo ocupó la recolección con 32%, seguido por el costo del aceite residual (22%) y por las actividades de operación y mano de obra con 20%. En el esquema B, los precios del aceite residual -según las entrevistas que se realizaron- disminuyeron gracias a que la empresa mantiene trato directo con los “productores de la materia prima” de eso modo lograron disminuir los costos de éste e incluso, han conseguido de forma gratuita el aceite residual.

Derivado de las Tablas 3.2 y 3.3 podemos decir que para las empresas ha resultado conveniente encargarse del proceso de recolección además de la producción de biodiésel, ya que bajo el esquema B pueden disminuir costos y mejorar el margen de utilidad. Por otro lado, la reducción de los costos de producción fortalece al biodiésel frente a diésel fósil, de manera que los empresarios interesados en producir y comercializar biodiésel deberían optar por el esquema B para entonces garantizar márgenes de utilidad en sus operaciones, haciendo que la industria del biodiesel sea promovida entre otros interesados.

### 3.4.2 Dimensión del mercado: Empresas que tramitaron permisos para producir, transportar y comercializar biodiésel.

La Secretaría de Energía a través de Dirección General de Energías Limpias emitió en abril del 2018 lo que hasta ahora es el último registro relacionado a permisos para producir, transportar y comercializar biocombustibles, además de las exenciones de permisos otorgados a universidades y centros de investigación sin fines de lucro, así como a los productores pequeños que utilizan los bioenergéticos para cubrir su propia demanda de combustible.

En la Tabla 3.4 podemos identificar la razón social de las diferentes empresas o instituciones que han solicitado algún tipo de permiso relacionado con el biodiésel, así como el tipo de producto, tipo de permiso y fechas de otorgamiento y vencimiento. En la Tabla mencionada, encontramos que únicamente se solicitó un permiso para producir biodiésel, por otro lado, hasta abril de 2018 se emitieron 25 permisos de exención de bioenergéticos, demostrando que la mayoría de la industria mexicana de biodiésel está integrada por pequeños productores, o bien, por centros de investigación interesados en este bioenergético. Por otro lado, se emitieron 14 permisos para la comercialización de biodiésel y 3 permisos para su transporte.

**Tabla 3.4 Registro de permisos para producción, distribución, comercialización y exenciones**

Razón Social	Producto	Permiso	Fecha de otorgamiento	Fecha de vencimiento
<b>PERMISO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL, ABRIL 2018</b>				
Instituto de Energías Renovables del Estado de Chiapas	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/PROD/01/10	24/09/2010	24/09/2040
<b>PERMISO DE TRANSPORTE DE BIODIÉSEL, ABRIL 2018</b>				
Geo Estratos, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/TRANS/01/10	19/03/2010	19/03/2040

Petro Oro, S.A. de C.V	Biodiésel	R- SENER/SPTE/DGEL/DGAER/T RANS/02/14	05/02/2015	05/02/2045
Transportes Especializados Antonio de la Torre e Hijos, S.A. de C.V.	Etanol anhidro y biodiésel	R- SENER/SPTE/DGEL/DGAER/T RANS/03/17	07/02/2018	07/02/2048
<b>PERMISO DE COMERCIALIZACIÓN DE BIOENERGÉTICOS, ABRIL DE 2018</b>				
Biocombustibles Internacionales, S.A. de C.V	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/10/09	15/12/2009	15/12/2039
Geo Estratos, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/15/10	19/03/2010	19/03/2040
Bioener, S.A. de C.V.	Etanol anhidro y biodiese	R-SENER/SPEDT/COM/16/10	14/09/2010	14/09/2040
Recursos Renovables Alternativos, S.A. de C.V	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/17/10	22/10/2010	22/10/2040
Biofuels de México, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/18/10	04/11/2010	04/11/2040
Corporativo Correcaminos, S.C. de R.L. de C.V.	Etanol hidratado carburante y biodiesel puro	R-SENER/SPEDT/COM/19/11	13/05/2011	13/05/2041
Alter Power, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/20/11	13/07/2011	13/07/2041
Instituto de Energías Renovables del Estado de Chiapas	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/21/11	13/07/2011	13/07/2041
Renovables Maya Verde, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/22/11	22/08/2011	22/08/2041
Destilados la Ideal, S.A. de C.V.	Biodiésel	R-SENER/SPEDT/COM/23/11	13/09/2011	13/09/2041
Preservación Ecológica Biodiesel	Biodiesel	R-SENER/SPEDT/COM/24/11	17/11/2011	17/11/2041



de México, S.C. de R.L. de C.V				
Combustibles y Energéticos Renovables PM, S.A. de C.V.	Biodiesel	R-SENER/SPEDT/COM/27/12	29/06/2012	29/06/2042
Biocom del Sureste, S.A. de C.V.	Biodiesel	R-SENER/SPEDT/COM/28/12	25/06/2012	25/06/2042
Ecoen, S.A. de C.V.	Biodiesel	RSENER/SPTE/DGS/DGAB/COM /29/12	19/12/2012	19/12/2042

### AVISOS DE EXENCIÓN DE BIOENERGÉTICOS, ABRIL 2018

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Organismo Público descentralizado)	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/147/2010	14/09/2010	N/A
Biofuels de México, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/181/2010	13/12/2010	N/A
Renovables Maya Verde, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/135/2011	13/07/2011	N/A
Instituto de Energías Renovables del Estado de Chiapas	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/136/2011	13/07/2011	N/A
Destilados la Ideal, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/214/2011	13/09/2011	N/A
Preservación Ecológica Biodiesel de México, S.C. de R.L. DE C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/293/2011	16/11/2011	N/A
Biocom del Sureste, S.A. de C.V	Biodiesel	Oficio N° DGIDTMA/211/471/2012	27/07/2012	N/A
Ecoen, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/003/2012	19/12/2012	N/A
Universidad Autónoma de Querétaro	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/004/2012	20/12/2012	N/A

Probioram S. de R.L. MI.	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/015/2013	02/08/2013	N/A
Soluciones Tecnológicas en Bioenergía, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/019/2013	06/09/2013	N/A
Centros de Acopio Cuauhtémoc S.P.R. de R.L. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/001/2013	23/01/2014	N/A
Planta de Biodiesel Yaotec, S.C. de P. de R.L. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGAB/211/011/2013	06/05/2014	N/A
Recikla Ambiental, S.A. de C.V	Biodiesel	Oficio N° DGS/DGAB/211/015/2014	11/06/2014	N/A
Combustibles Biológicos de México, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/0338/2015	19/02/2015	N/A
Cooperativa Agrícola Luzmichelle, S.C. de R.L. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/1455/2015	23/07/2015	N/A
Biorecen, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/0633/2015	06/04/2015	N/A
Abelardo Hernández Núñez	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/1605/2015	14/08/2015	N/A
Energía Girón, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/1187/2015	23/06/2015	N/A
Tecnologías Disruptivas, S.A.P.I. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/1549/2016	28/10/2016	N/A
Recoreuse Company S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/070/2017	06/11/2017	N/A
UGA Soluciones Ambientales, S.A. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/339/2017	02/03/2017	N/A
Biomazatl, S.C. de R.L. de C.V.	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/458/2017	24/03/2017	N/A

Rafael Solano Ramírez	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/908/2017	10/07/2017	N/A
Centro Mexicano para la Producción más Limpia del IPN	Biodiesel	Oficio N° DGEL/211/935/2017	21/07/2017	N/A

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de bioenergéticos, SENER.

De acuerdo con los lineamientos de permisos de bioenergéticos expuestos en el capítulo 2, quedan exentos para solicitar permiso de producción toda empresa o institución que genere una cantidad menor o igual a 500 litros diarios de biodiesel, además de aquellos que cuenten con una capacidad de almacenamiento igual o menor a 1000 litros (DOF, 2008). Como se mencionó, lo anterior corresponde con la dimensión de la industria del biodiesel, ya que la gran mayoría de productores utilizan este biocombustible para satisfacer sus necesidades de autoconsumo, o bien, para labores de investigación. Sólo un grupo reducido de productores han solicitado permiso para comercializar, de manera que hasta abril de 2018 el 33% de todos los permisos fueron emitidos para la venta del biodiesel.

Referente a los permisos para comercializar biodiésel, se encontró que la mitad de éstos fueron concedidos a empresas que únicamente se dedican a la venta del biodiésel, de manera que estas empresas son intermediarias entre los productores y los consumidores, por lo que existe la posibilidad de que algunas de estas compañías importen el biodiésel si éste no es suministrado por productores nacionales, por ejemplo: Biocombustibles Internacionales, S.A. de C.V, Bioener, S.A. de C.V., Alter Power, S.A. de C.V., entre otros.

Siguiendo con la Tabla 3.4, el 43% de los permisos para comercializar corresponde con empresas que producen su propio biodiésel, sin embargo, debido a su capacidad de generación, están exentas de solicitar permiso de producción. En este sentido, menos de la mitad de quienes venden biodiésel en el mercado también son productores. Por último, el 7% corresponde a empresas que transportan y comercializan biodiesel.

Por todo lo anterior y suponiendo que las sociedades registradas ante SENER sean todas las empresas e instituciones dedicadas a la industria del biodiésel, determinaríamos que este sector está mayormente ocupado por productores pequeños que no necesariamente están implicados en todo el circuito de la actividad del biodiésel, es decir, producir, distribuir y comercializar, por lo que se estima que el mercado de biodiésel tiene una dimensión bastante pequeña, sirviendo de orientación para explicar parte del laxo dinamismo de este mercado. No obstante, nos parece que este diagnóstico podría ser tomado como una oportunidad, en el sentido de explotar un nicho de mercado que de comprobar la eficiencia del biodiésel y promover su consumo, no cabe duda que la demanda y oferta de este mercado ofrecería mayores oportunidades para incentivar el crecimiento económico.

Continuando con nuestro análisis de mercado, más adelante se mostrará brevemente la forma de la curva de oferta y demanda del biodiésel, por lo que será interesante establecer el comportamiento de los consumidores y de los oferentes considerando que existe un precio de referencia del diésel y que la demanda de combustible se mantiene constante a pesar de las variaciones en el precio.

### **3.4.3 Demanda y oferta de biodiésel**

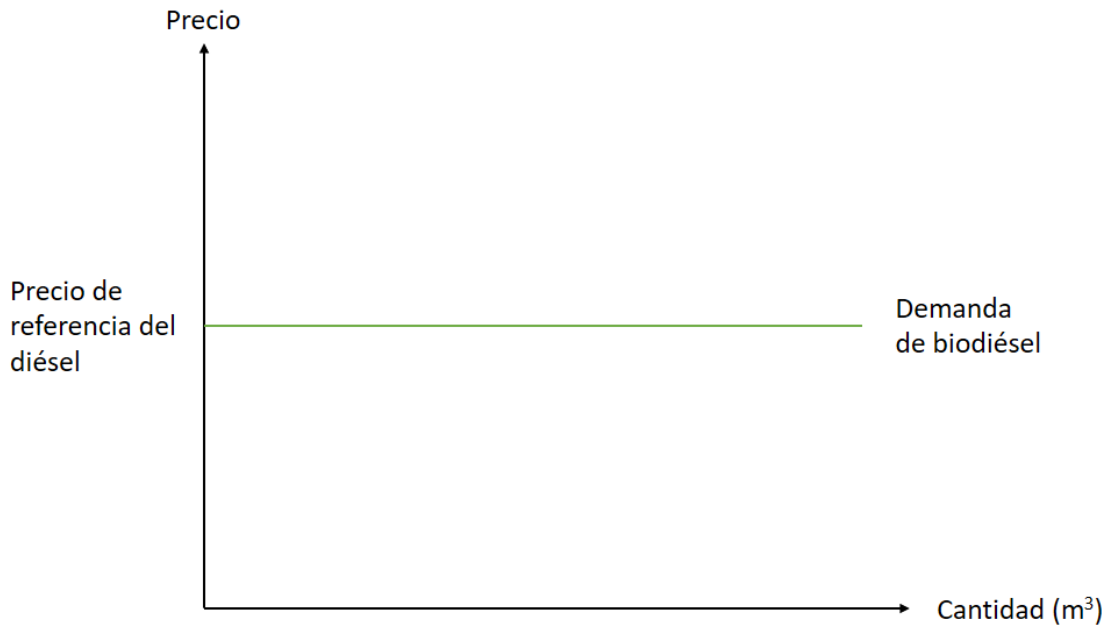
Para que exista un mercado de biodiésel evidentemente habrá que existir una demanda, por lo que la única forma en que este producto se anteponga a las preferencias de los consumidores será sí el biodiésel se ofrece a un precio menor que el diésel fósil, es así que, el precio del biodiésel estará condicionado por el comportamiento de éste último (Riegelhaupt et al., 2016). Por el lado de la oferta, antes se debe asegurar suministros de materia prima (grasas y aceites de origen animal o vegetal), de manera que las empresas buscarán satisfacer su demanda de materia prima además de reducir los costos de producción para competir contra otros oferentes en el mercado (loc. cit.). Por tanto, el mercado de biodiésel existirá siempre y cuando los consumidores puedan adquirir un producto que esté por debajo del precio del diésel y, que los productores puedan cubrir al menos los costos de producción para ofrecer su producto.

### 3.4.3.1 Curva de demanda de biodiésel

El diésel es un producto utilizado principalmente por la industria, ya sea para la distribución y transporte de sus productos e insumos, para mantener las calderas encendidas durante los procesos de producción, o bien, para generar electricidad en sus instalaciones, por ello, a pesar de las variaciones en el precio del diésel y de la ausencia de bienes sustitutos, el sector industrial no puede dejar de operar sin consumir diésel (Beltrán & Alexadri, 2017). En ese sentido, es que, a pesar de la subida de precio del combustible, la industria siempre demandará cantidades similares de diésel. Por otro lado, al determinar un precio de referencia de diésel por parte del Gobierno Federal, la curva de demanda del diésel toma una forma horizontal. Ahora bien, la construcción de la curva de demanda de biodiésel muestra la relación entre la cantidad producida (expresada en  $m^3$ ) y el precio de mercado, debido a que en México no se cuenta con un precio de referencia específico para biodiésel, utilizaremos el precio de referencia del diésel fósil como el precio máximo al que los consumidores estarían dispuestos a adquirir biodiésel (Riegelhaupt et al., 2016).

En la Figura 3.1 observamos que la demanda de biodiésel dibuja una línea horizontal a lo largo de las diferentes cantidades, por lo que, sin importar la cantidad de demanda, el precio al que los consumidores demandarán biodiésel permanecerá en función del precio de referencia del diésel.

### 3.1 Curva de demanda de biodiésel



Fuente: Red Mexicana de Bioenergía, ECOFYS (2016)

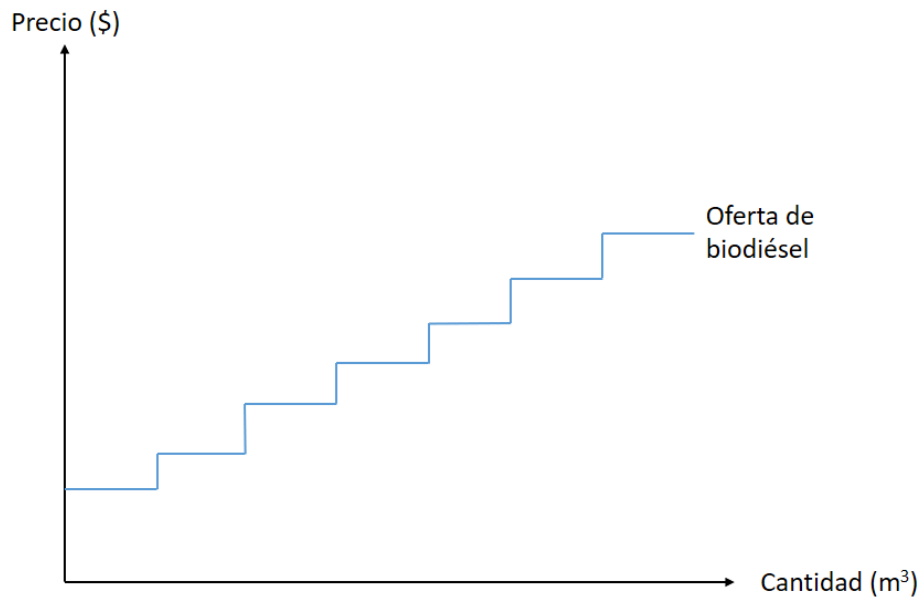
Tenemos en cuenta que de liberarse el precio del diésel tanto la curva de demanda de éste como del biodiésel se trazaría formando una curva que exponga inelasticidad en su demanda, por lo que las variaciones en los precios tanto del diésel como del biodiésel no aumentan o disminuyen recíprocamente la demanda de los consumidores, después de todo, los productos que se caracterizan por tener inelasticidad en la cantidad de demanda suelen ser productos con pocos sustitutos además de ser considerados necesarios por los usuarios (Moreno, 2010).

#### 3.4.3.2 Curva de oferta de biodiésel

La curva de oferta de biodiésel estará determinada por el suministro de materia prima y por la capacidad de reducir los costos de operación, además de la influencia del precio del diésel, de manera que existirán oferentes hasta que el precio de venta del biodiésel se igual o menor al precio del diésel, bajo esta premisa, los productores de biodiésel obtendrán mayores beneficios a medida que disminuyan los costos de producción (Janeiro, 2016). De acuerdo con la Figura 3.2, la curva de oferta de biodiésel dibuja una forma escalonada, en donde existen diferentes productores que de acuerdo al precio de venta ofrecerán una cantidad

determinada de biodiésel. Mientras se mantengan por debajo del precio de referencia de diésel, los oferentes garantizarán utilidades.

**Figura 3.2 Curva de oferta de biodiésel**



Fuente: Red Mexicana de Bioenergía, ECOFYS (2016)

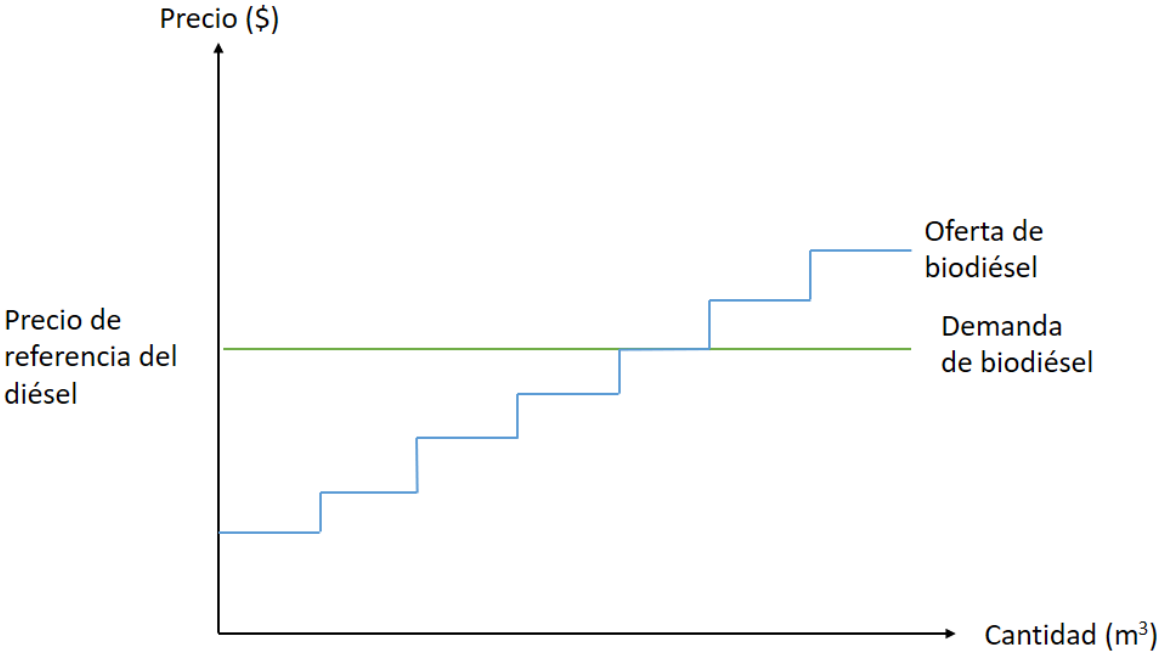
La forma escalonada se debe a que existirán pocas empresas que podrán colocar su producto a un precio de venta específico, por lo que la relación precio de venta y cantidad ofrecida se mantendrá en un intervalo hasta que el precio aumente lo suficiente como para que otras empresas se interesen por ofertar. A medida que el mercado de biodiésel tenga una mayor aceptación y esté integrado a estrategias para atraer inversión privada, la curva de oferta se suavizará al aparecer más productores, y mayores suministros de materia prima.

#### **3.4.3.3 Punto de equilibrio entre oferta y demanda de biodiésel**

El punto de equilibrio entre la oferta y la demanda se muestra en la Figura 3.3, donde como era de esperarse, la cantidad de oferta y demanda en equilibrio se encuentra determinada por el precio de referencia del diésel, por lo que las variaciones en el precio de referencia del diésel es una condición que influirá en el mercado del biodiésel, lo cual nos hace determinar que para que el mercado de biodiésel se anteponga a las preferencias de los consumidores sobre el diésel, los

productores deberán concentrar su capital en el desarrollo de tecnologías y procesos que hagan más eficientes los métodos de producción y la recolección de materia prima, ya sea vía aceite residual, o bien, aceite virgen producido en el sector agroindustrial.

**Figura 3.3 Equilibrio entre oferta y demanda de biodiésel**



Fuente: Red Mexicana de Bioenergía, ECOFYS (2016)

Derivado de lo anterior, podemos precisar que el biodiésel es un biocombustible que puede ser utilizado por la industria en general, siendo un producto que se adapte a las necesidades energéticas de acuerdo a la actividad, por lo que los productores de biodiésel, mientras garanticen el cumplimiento de las especificaciones de calidad y un precio menor o igual al precio del diésel, podrán colocar en el mercado el biodiésel que se produzca, dando una oportunidad favorable para generar utilidades, recuperar la inversión y colaborar en el desarrollo de un mercado que promueve la sustentabilidad ambiental y económica.

Bajo esta premisa llegamos a la última sección de nuestro capítulo, dando apertura a la creación de un ejercicio financiero, gracias a la visita de plantas productoras de biodiésel y la entrevista a empresarios relacionados con este mercado es que



podemos presentar un modelo financiero que indique si es rentable invertir en la producción, distribución y comercialización de biodiésel en México.

### 3.5 Modelo financiero

El modelo financiero fue elaborado utilizando el software Microsoft Excel, el cual ha sido entregado al Centro Mexicano de Producción más Limpia (CMPL) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) para ser utilizado en sus operaciones relacionadas al biodiésel, ya que este centro de investigación colaboró en gran medida para la realización de la presente I.C.R.

La siguiente información expuesta ha sido el resultado de entrevistas y reuniones con investigadores y empresarios dedicados a promover el mercado de biodiésel, así como información proporcionada por el CMPL del IPN, por lo que los datos que se presentarán resultan del cálculo promedio de las distintas fuentes. Lo siguiente es un estimado para determinar la viabilidad de una empresa dedicada a la producción de biodiésel durante los años 2019-2023 con una inversión inicial de aproximadamente 15 millones de pesos, por lo que el ejercicio se ha programado para recibir estimaciones de este periodo. Para iniciar la actividad y operación de la empresa, deben considerarse la compra o renta de instalaciones, terrenos, equipo de trabajo, entre otro tipo de activos, pero, se ha contemplado únicamente los activos indispensable para el funcionamiento de nuestra hipotética planta de biodiésel, por otro lado debemos resaltar que la adquisición y manejo de una planta productora de 60 mil litros de biodiésel al mes (con valor de 3 millones de pesos), genera la cantidad de producción suficiente para mejorar las oportunidades y sobreponerse a los costos de producción, la inflación y el resto de costos que están inmersos en la producción, distribución y venta de biodiésel.

A continuación, se presentarán los hitos más representativos para analizar el status financiero de la empresa, por lo que se indicarán el conjunto de activos y pasivos, los resultados sobre ventas vs costos de venta durante el 2019, el estado de resultados con sus respectivos conceptos, y finalmente una serie de ratios y razones financieras que apoyen con el diagnóstico.

Las conclusiones sobre los hitos se mostrarán al final de esta sección, ya que analizar y englobar todas las partes ayudará en la presentación de los resultados esperados.

### **3.5.1 Balance general**

De acuerdo con la Tabla 3.5, al iniciar la empresa el activo no corriente está conformado por un valor cercano a los 10 millones de pesos, mientras que el activo corriente tiene un valor aproximado de 5.3 millones de pesos, por lo que porcentualmente, el activo no corriente ocupa el 65.37% respecto al total de los activos, mientras que el activo corriente ocupa el 34.63%. No obstante, al cierre del ejercicio 2019 y según las estimaciones para el año 2020, el activo corriente tendrá mayores montos superando al valor monetario de los activos no corrientes, lo cual indica que la empresa tendrá activos susceptibles de convertirse en efectivo en un periodo menor a un año, haciendo que la liquidez de la empresa aumente y se pueda disponer de recursos con mayor facilidad. Sobre el patrimonio neto y los pasivos, éstos han sido inferiores al patrimonio neto, por lo que la empresa se mantiene estable desde la apertura en el 2019 hasta el probable cierre del 2020, de hecho, si revisamos con atención el pasivo corriente y no corriente, notamos que su tendencia es a la baja, además de que el patrimonio neto va en aumento.

Tabla 3.5 Balance general

	Apertura Ejercicio 2019		Cierre Ejercicio 2019		Cierre Ejercicio 2020	
	Pesos	%	Pesos	%	Pesos	%
<b>Activo No Corriente ("Inmovilizado")</b>	\$10,175,000.00	65.37%	\$ 9,410,000.00	50.98%	\$ 9,095,000.00	45.12%
<b>Inmovilizado Material</b>	\$10,175,000.00	65.37%	\$10,175,000.00	55.13%	\$10,675,000.00	52.96%
<b>- Amortización Acumulada Inmovilizado Material</b>	\$ -	0.00%	-\$ 765,000.00	-4.14%	-\$ 1,580,000.00	-7.84%
<b>Activo Corriente ("Circulante")</b>	\$ 5,391,416.67	34.63%	\$ 9,047,883.81	49.02%	\$11,061,171.15	54.88%
<b>Existencias</b>	\$ 17,250.00	0.11%	\$ 17,250.00	0.09%	\$ 18,112.50	0.09%
<b>Realizable (Clientes, Deudores y H.P. Deudora)</b>	\$ -	0.00%	\$ 515,040.00	2.79%	\$ 620,792.00	3.08%
<b>Tesorería (Disponible)</b>	\$ 5,374,166.67	34.52%	\$ 8,515,593.81	46.14%	\$10,422,266.65	51.71%
<b>Total Activo</b>	<b>\$15,566,416.67</b>	<b>100.00%</b>	<b>\$18,457,883.81</b>	<b>100.00%</b>	<b>\$20,156,171.15</b>	<b>100.00%</b>
<b>Patrimonio Neto - Recursos Propios</b>	\$10,192,250.00	65.48%	\$12,651,523.72	68.54%	\$15,285,892.32	75.84%
<b>Capital</b>	\$10,192,250.00	65.48%	\$10,192,250.00	55.22%	\$10,192,250.00	50.57%
<b>Remanente y Resultados Ejerc. Anteriores</b>	\$ -	0.00%	\$ -	0.00%	\$ 2,459,273.72	12.20%
<b>Resultado del Ejercicio</b>	\$ -	0.00%	\$ 2,459,273.72	13.32%	\$ 2,634,368.61	13.07%
<b>Pasivo No Corriente ("Exigible a LP")</b>	\$ 5,374,166.67	34.52%	\$ 3,383,854.49	18.33%	\$ 2,311,692.32	11.47%
<b>Acreedores L.P. Financieros - Préstamos (1+2)</b>	\$ 5,374,166.67	34.52%	\$ 3,383,854.49	18.33%	\$ 2,311,692.32	11.47%
<b>Pasivo Corriente ("Exigible a CP")</b>	\$ -	0.00%	\$ 2,422,505.60	13.12%	\$ 2,558,586.51	12.69%
<b>Acreedores C.P. Financ. (Préstamos y Leasing)</b>	\$ -	0.00%	\$ 1,019,978.15	5.53%	\$ 1,072,162.17	5.32%
<b>Acreedores Comerciales</b>	\$ -	0.00%	\$ 158,688.00	0.86%	\$ 166,622.40	0.83%

<b>Hac. Pública y S.S. Acreedora (Retenciones, IVA, Impuesto Soc)</b>	\$ -	0.00%	\$ 1,243,839.45	6.74%	\$ 1,319,801.94	6.55%
<b>Total Patrimonio Neto y Pasivo</b>	<b>\$15,566,416.67</b>	<b>100.00%</b>	<b>\$18,457,883.81</b>	<b>100.00%</b>	<b>\$20,156,171.15</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia con información del CMPL y empresas dedicadas a la producción de biodiésel.

### 3.5.2 Ventas y costos de ventas

En lo que respecta con la sección 3.4.3. de este capítulo (Demanda y oferta de biodiésel), se ha expuesto que los consumidores estarían dispuestos a adquirir biodiésel siempre que éste tenga un precio menor al diésel fósil, por lo que, si los productores logran ofrecer su producto por debajo del precio de referencia, entonces podrán hacer efectiva la venta de su producción. Las delimitaciones para aumentar sus ingresos por venta dependerán en gran medida de la habilidad para disminuir los costos de producción y mejorar la aplicación técnica, en ese sentido, es que será posible garantizar la venta del total de su producción.

En la Tabla 3.6 encontramos el total de ventas durante el año 2019, por lo que al utilizar una planta de biodiésel capaz de producir 2 mil litros diarios la cantidad de producción mensual estará alrededor de 60 mil litros de biodiésel. El precio de venta promedio utilizado se encuentra en \$18.5 pesos por lo que de ejecutar una venta mensual de 60 mil litros se tendría una venta mensual de 1.11 millones de pesos, por tanto, al año los ingresos por ventas se estiman en 13.32 millones de pesos. El punto de equilibrio refleja el total de ingresos que debe tener la empresa para cubrir los costos totales para el ejercicio 2019, debido a que los 4.1 millones de pesos son menores al importe de las ventas totales, se determina que la venta de biodiésel para el año 2019 genera beneficios a la empresa.

**Tabla 3.6 Ventas y costos de ventas**

Biodiésel				
Ventas	Litros	Precio de Venta Unitario	Venta Mensual	Total IVA Repercutido por Ventas
Enero	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Febrero	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Marzo	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Abril	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Mayo	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Junio	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600
Julio	60,000	\$ 18.50	\$ 1,110,000	\$ 177,600

<b>Agosto</b>	60,000	\$	18.50	\$	1,110,000	\$	177,600
<b>Septiembre</b>	60,000	\$	18.50	\$	1,110,000	\$	177,600
<b>Octubre</b>	60,000	\$	18.50	\$	1,110,000	\$	177,600
<b>Noviembre</b>	60,000	\$	18.50	\$	1,110,000	\$	177,600
<b>Diciembre</b>	60,000	\$	18.50	\$	1,110,000	\$	177,600
<b>Totales</b>	720,000			\$	13,320,000	\$	2,131,200

Punto de Equilibrio: \$4,165,761.83

Fuente: Elaboración propia con información del CMPL y empresas dedicadas a la producción de biodiésel.

### 3.5.3 Estado de resultados

La siguiente Tabla 3.7 presenta el Estado de Resultados del ejercicio 2019 y el potencial cierre del año 2020, en él encontramos que efectivamente la venta de biodiésel durante el primer año generó 13.32 millones de pesos, el costo de ventas en relación al apartado 3.4.1 (Costos de producción del biodiésel) y de acuerdo a la cantidad producida representó el 61.62% del total de ventas, por lo que el margen bruto sobre ventas significó 5.1 millones de pesos. Sobre el resultado operativo, la EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization) es utilizada como un indicador de rentabilidad de un negocio ya que pone de lado aspectos tributarios y financieros, concentrándose en la actividad productiva de la empresa, por lo que en este caso la EBITDA nos indica que después de liquidar todos los costos implicados en la producción, la empresa genera beneficios, por lo que el negocio en sí mismo funciona.

**Tabla 3.7 Estado de resultados**

Conceptos	Cierre Ejercicio 2019	% sobre Ventas	Cierre Ejercicio 2020	% sobre Ventas	Variación respecto al ejercicio anterior
<b>Ventas (Ingresos)</b>	\$ 13,320,000	100.00%	\$ 13,986,000	100.00%	5.00%
<b>Biodiésel</b>	\$ 13,320,000	100.00%	\$ 13,986,000	100.00%	5.00%
<b>Costo de Ventas (Costos Variables)</b>	\$ 8,208,000	61.62%	\$ 8,618,400	61.62%	5.00%
<b>Margen Bruto s/Ventas</b>	\$ 5,112,000	38.38%	\$ 5,367,600	38.38%	5.00%

<b>Sueldos y Salarios (Socios y Empleados)</b>	\$	109,000	0.82%	\$	109,000	0.78%	0.00%
<b>Cargas Sociales (Seguro Social)</b>	\$	22,080	0.17%	\$	22,080	0.16%	0.00%
<b>Suministros (Luz, Agua, Teléfono, Gas)</b>	\$	216,000	1.62%	\$	222,480	1.59%	3.00%
<b>Material de Oficina</b>	\$	36,000	0.27%	\$	37,080	0.27%	3.00%
<b>Reparaciones, Mantenimiento y Conservación</b>	\$	60,000	0.45%	\$	61,800	0.44%	3.00%
<b>Transportes y Mensajería</b>	\$	144,000	1.08%	\$	148,320	1.06%	3.00%
<b>Resultado Operativo (EBITDA)</b>	<b>\$</b>	<b>4,524,920</b>	<b>33.97%</b>	<b>\$</b>	<b>4,766,840</b>	<b>34.08%</b>	<b>5.35%</b>
<b>Dotación Amortizaciones</b>	\$	765,000	5.74%	\$	815,000	5.83%	6.54%
<b>Total Gastos de Explotación</b>	\$	1,352,080	10.15%	141576000.00%	10.12%	4.71%	
<b>Beneficios Antes de Intereses e Impuestos (BAII)</b>	<b>\$</b>	<b>3,759,920</b>	<b>28.23%</b>	<b>\$</b>	<b>3,951,840</b>	<b>28.26%</b>	<b>5.10%</b>
<b>Gastos Financieros</b>	\$	246,672	1.85%	\$	197,028	1.41%	-20.13%
<b>Resultado Financiero</b>	<b>-\$</b>	<b>246,672</b>	<b>-1.85%</b>	<b>-\$</b>	<b>197,028</b>	<b>-1.41%</b>	<b>20.13%</b>
<b>Resultado Antes de Impuestos y Res. Excepcionales</b>	\$	3,513,248	26.38%	\$	3,754,812	26.85%	6.88%
<b>Beneficio Antes de Impuestos (BAI)</b>	<b>\$</b>	<b>3,513,248</b>	<b>26.38%</b>	<b>\$</b>	<b>3,754,812</b>	<b>26.85%</b>	<b>6.88%</b>
<b>Provisión Impuesto sobre Beneficios</b>	\$	1,053,974	7.91%	\$	1,120,444	8.01%	6.31%
<b>Beneficio Neto</b>	<b>\$</b>	<b>2,459,274</b>	<b>18.46%</b>	<b>\$</b>	<b>2,634,369</b>	<b>18.84%</b>	<b>7.12%</b>

Fuente: Elaboración propia con información del CMPL y empresas dedicadas a la producción de biodiésel.

Una vez terminado con las obligaciones financieras e impuestos, el Beneficio Neto representa el 18.46% de los ingresos por venta, por lo que los propietarios de la planta de biodiésel pueden acumular un valor aproximado de 2.5 millones de pesos, haciendo posible continuar invirtiendo en la producción de biodiésel del siguiente año.

Al comparar el cierre 2019 con las estimaciones para el 2020, evaluamos un aumento en las ventas en 5%, derivado de un aumento parcial de la planta productiva manteniendo el mismo precio en el mercado (\$18.5 MXN), por lo que el Costo de Ventas y el Margen Bruto sobre Ventas aumentarán igualmente 5%.

Considerando la inflación, los costos de operación y mantenimiento, el transporte, entre otros, calculamos aumentarán 3%, pero, este aumento no será lo suficientemente representativo para afectar el rendimiento de la empresa, ya que se prevé un aumento del 5.35% para la EBITDA del año 2020 con respecto al año anterior, demostrando que la actividad productiva continúa generando beneficios. Los Gastos Financieros se reducen en un 20.13% mientras que el Beneficio Antes Impuestos será mayor, ya que los impuestos no crecerán significativamente y, por último, el Beneficio Neto comparado con el 2019 será mayor en un 7.12%, indicando la posibilidad de continuar generando inversión para mejorar la condición financiera de la empresa.

### 3.5.4 Ratios y razones financieras

Sobre los principales ratios financieros destacamos el Plazo de Recuperación de Inversión el cual nos indica que se necesitará cerca de 3 años para recuperar la inversión inicial, además de que en términos de Valor Actual Neto (VAN) al ser positivo nos indica que la inversión producirá ganancias por encima del monto de inversión. La Tasa Interna de Retorno (TIR) registra 22.49% indicando no sólo que el proyecto es rentable, sino que puede estar por encima de otros fondos de inversión, haciendo que la inversión en el mercado de biodiésel sea más confiable para la iniciativa privada como para proyectos estatales (Véase Tabla 3.8).

**Tabla 3.8 Ratios financieros**

Ratios Financieros		
Ratio	Definición	2019-2023
Plazo de Recuperación de la Inversión (Pay-Back)	Número de años que se tarda en recuperar la Inversión Inicial	3.02
VAN (Valor Actual Neto o Valor Capital)	Valor Actual, en términos absolutos, de un proyecto de Inversión	\$ 4,797,223.04
TIR (Tasa Interna de Rentabilidad)	Tasa de Descuento que hace que el VAN de un proyecto sea 0.	22.49%

Fuente: Elaboración propia con información del CMPL y empresas dedicadas a la producción de biodiésel.

En la Tabla 3.9 encontramos razones de rentabilidad, liquidez y solvencia y, razones de endeudamiento y autonomía financiera. Las razones financieras de este ejercicio



nos revelan que los beneficios obtenidos durante el año 2019 son cercanos al 20% de los recursos propios y los Activos Totales, por lo que, para el primer año de actividad, sólo se alcanzará una quinta parte en utilidades comparada con los recursos propiedad de la empresa, además de que para el 2020 se prevé que la ROE y la ROI representen el 17.23% y 19.61% sobre los beneficios netos y el total de activos. Sobre liquidez y solvencia, los activos representan el 318% de los pasivos en el 2019, mientras que en el 2020 se considera que su relación estará en el 414%, demostrando que la solvencia de la empresa puede doblar las deudas adquiridas entre 3 a 4 veces para los próximos años. Un caso parecido sucede al aplicar la Prueba Ácida, ya que los activos e inventarios también triplican el valor de la deuda, concluyendo para las razones de liquidez y solvencia que nuestra compañía puede hacer frente a la adquisición de deuda y es lo bastante estable como para hacer líquidos sus valores. Por último, la razón de endeudamiento y autonomía financiera nos indican que la compañía en el 2019 podría liquidar su deuda en un 73.22%, para que al cierre del 2020 la deuda esté 100% terminada. Para el caso de cobertura de intereses, contemplando el Beneficio Antes de Intereses e Impuestos contra los Gastos Financieros, determinamos que en el 2019 se habrá cubierto con el 15.24% de los intereses, por lo que para el ejercicio 2020 la cobertura de los intereses estará al 20.06%.

**Tabla 3.9 Razones financieras**

<b>Razones Financieras</b>			
<b>Rentabilidad</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
ROE (Return On Equity) - Rentabilidad Financiera	Beneficio Neto / Recursos Propios Totales	19.44%	17.23%
ROI (Return On Investment) - Rentabilidad Económica	Beneficio Antes de Intereses e Impuestos / Activo Total	20.37%	19.61%
<b>Liquidez y Solvencia</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Solvencia	Activo Total / Pasivo Total	318%	414%
Tesorería (Prueba Ácida)	(Activo Corriente + Inventario) / Pasivo Corriente	373%	432%
<b>Endeudamiento y Autonomía Financiera</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>

Capacidad de Devolución de la Deuda con Acreedores Financieros	(Beneficio Neto + Amortizaciones) / Acreedores Financieros	73.22%	100.00%
Cobertura de Intereses	Beneficios Antes de Intereses e Impuestos / Gastos Financieros	15.24%	20.06%

Fuente: Elaboración propia con información del CMPL y empresas dedicadas a la producción de biodiésel.

Como se ha expuesto a lo largo de la sección financiera, el modelo muestra que de efectuarse una inversión de alrededor de 15 millones durante un periodo de 5 años en la industria del biodiésel, generará utilidades a sus inversionistas, ya que se considera que todos los litros de biodiésel producidos se podrán colocar en el mercado a un precio de 18.5 pesos, siendo inferior al precio actual del biodiésel. Ahora sabemos que no sólo la inversión bajo los términos ya mencionados puede otorgar beneficios, sino que la inversión podrá recuperarse dentro de los próximos 3 años. Como vimos en las Tablas anteriores es necesario mantener un margen mayor en la cantidad de activos con respecto a los pasivos, tener cuidado de no contraer deudas innecesarias además de procurar vender todo lo que se produzca, por lo que el éxito de la empresa también corresponderá a la habilidad para generar contratos de venta con el sector industrial en general.

Entendemos que este modelo puede no considerar las barreras y limitaciones del mercado expuestas en el apartado 3.2 (Barreras que limitan el desarrollo del mercado de biodiésel), incluso considerar que todo lo que se produce se coloca en el mercado, además de hacer de lado las dificultades para obtener los suministros suficientes de materia prima, sin embargo, consideramos que este ejercicio puede generar el interés de gobiernos locales y la iniciativa privada para colaborar en el desarrollo de biodiésel en México.

Sabemos que es necesario atender diferentes frentes, sin embargo, los avances científicos y tecnológicos son significativos, además de que otros países han comprobado adquirir beneficios tanto para el dinamismo de su economía como para la satisfacción de la demanda energético, por ello, creemos que a través de la difusión y aplicación del conocimiento entre diferentes áreas del conocimiento científico se podrá estructurar un mercado de biodiésel lo bastante estable como para gestar beneficios a los empresarios, al gobierno y a la comunidad en general.

## Conclusiones

Sobre los aspectos internacionales destacamos que los países más productores de biodiésel como Estados Unidos, Brasil e Indonesia han establecido una industria lo suficientemente estable que permita satisfacer sus necesidades de combustible y diversificación de la matriz energética. Los costos de producción empleados por los países productores se concentran en mayor medida en la obtención de materia prima, por lo que diseñar un sector agroindustrial que satisfaga las necesidades de suministros será una ventaja para disminuir costos y ser mucho más competitivos frente al diésel y en el comercio internacional.

Existen diferentes barreras que dificultan el desarrollo del mercado del biodiesel de carácter económico, político, social, legal y ambiental, destacando que las empresas que existen hoy en día enfocadas en la producción y venta de biodiésel no son capaces de mantenerse en operación y de ofrecer sus servicios a largo plazo, además de la dificultad para garantizar suministros de materia prima para satisfacer la demanda del consumidor. Políticamente existe incertidumbre debido a la posición de la administración actual, ya que ésta prioriza la recuperación económica de PEMEX sin enfocarse en atender a otros mercados pertenecientes al sector energético, por lo que no se han diseñado estrategias que atraigan inversión privada para actividades alternas a los hidrocarburos como el biodiésel. Socialmente la aceptación de los consumidores es relevante para motivar el uso de este biocombustible, por lo que resulta necesario crear canales de promoción a través de la iniciativa privada y el Estado para crear confianza en un producto científicamente probado y económicamente rentable.

Es necesario mejorar en materia legal, la aplicación de la normatividad y regulación para garantizar la competencia legítima bajo los estándares de calidad internacionales, para no sólo evitar que los consumidores adquieran productos no certificados lejos de ser llamados biodiesel, sino para crear la estructura fiscal suficiente para crear confianza en la inversión privada. Haciendo uso de la fiscalía y seguridad ambiental, se debe procurar que al promover la actividad de la industria del biodiésel se mantenga la conservación del ambiente, puesto que existiría

incongruencia al fomentar un bioenergético y dañar la biodiversidad con su aplicación.

En materia de precios, el diésel es un producto derivado del petróleo que ha aumentado su demanda y su precio a lo largo de los años, a pesar de que en México se registró una disminución en la venta de éste petrolífero, ésta no fue derivada de la disminución de la demanda sino de una estrategia política para combatir el robo de combustible en México, de manera que hoy en día los precios de primera mano del diésel y los precios en estaciones de servicio han crecido lo suficiente, creando una oportunidad de competencia para el biodiésel.

Como se mencionó, la materia prima representa el mayor impacto en los costos de producción de biodiésel, figurando entre el 75% y 80% de éstos, por lo que se estima una oportunidad para aquellos interesados en la agroindustria, puesto que, de hallar formas más eficientes de adquirir la materia prima, existiría un mayor margen de utilidad para los productores de biodiésel, y en consecuencia la cohesión entre el sector energético y el sector agrícola.

Hoy en día el biodiésel aumenta sus posibilidades de competir en términos de precio contra el diésel, ya que el aumento de precios del diésel ha superado los costos de producción del biodiésel, incluso lo suficiente como para que los promotores del biodiésel realicen la venta por litro a un precio que les genere utilidades.

El mercado de biodiésel en México está integrado por pequeños productores y, sobre todo, por instituciones dedicadas al estudio del biodiésel, por lo que en México aún no existen empresas de gran tamaño que puedan garantizar cubrir las necesidades de combustible de la industria en general, de acuerdo al análisis de los permisos otorgados por la SENER, no existe institución o empresa que se dedique a la producción, distribución y comercialización de biodiésel. De ello, se encuentra un nicho de mercado para aquellos interesados en incrementar su capital y promover una actividad completamente sustentable.

La demanda y oferta del biodiésel está fuertemente influenciada por el precio de referencia del diésel, sin embargo, también se debe considerar el precio de la

materia prima, la disponibilidad de los suministros y la capacidad de convencer a los consumidores de adquirir un producto derivado del aceite vegetal, por tanto el mercado de biodiésel existirá siempre y cuando los consumidores puedan adquirir un producto que esté por debajo del precio del diésel y, que los productores puedan cubrir al menos los costos de producción para ofrecer su producto. En este sentido el punto de equilibrio entre la oferta y demanda de biodiésel se encontrará donde ambas curvas coincidan con el precio de referencia del diésel establecido por el gobierno.

Al elaborar el modelo financiero se determinó que al aplicar una inversión inicial de 15 millones de pesos, durante un ejercicio de 5 años, es posible generar beneficios para los inversionistas, ya que en este modelo se consideró no sólo hacer uso de la inversión para adquirir la planta de biodiésel, sino también, para adquirir los activos corrientes y no corrientes básicos para evitar el endeudamiento, resultando que de lograr la venta de todo lo producido durante el primer año del ejercicio, se gestarán beneficios netos después de haber cumplido con la cobertura de gastos, responsabilidades financieras y fiscales. Además de lo anterior, se prevé que el retorno de la inversión se logrará a lo largo de 3 años, obteniendo un resultado positivo en el cálculo del VAN y una TIR alrededor del 22%.

## Conclusiones generales

A lo largo de esta Idónea Comunicación de Resultados hemos mencionado las bondades y beneficios de utilizar biodiésel como una alternativa a los combustibles fósiles, por lo que nuestro objetivo central ha sido promover y evaluar el mercado de biodiésel en México. Con este propósito, determinamos en el capítulo 1, que el biodiésel presenta muchas más ventajas en su consumo y para la población en general comparado con sus desventajas, por lo que a pesar de tener algunas dificultades como la solidificación de partículas a bajas temperaturas o la disminución de potencia en los motores de combustión interna, sus ventajas ofrecen un producto que a través de los avances tecnológicos y científicos se irán perfeccionando, por lo que encontramos en el biodiésel un producto de gran potencial para ser un sustituto del diésel.

Las materias primas empleadas para fabricar biodiésel pueden encontrarse en las grasas y aceites vegetales, además de aceite residual, por lo que existen diversas fuentes de suministro para crear este biocombustible, sin embargo, para cuidar de la calidad del producto la mejor opción como materia prima debe provenir de las oleaginosas, de manera que las imperfecciones del biodiesel como la solidificación de partículas puede resolverse mediante el uso de este tipo de biomasa. El problema con respecto a las materias primas radica en la insuficiencia para garantizar cubrir la demanda insumos para el biodiésel, por lo que a pesar de que en México se tiene las condiciones climáticas y territorio para promover productos agro-energéticos no se ha establecido estrategias para hacer cohesión entre el sector agrícola y el sector energético, afectando a la producción de biodiésel.

La tecnología utilizada en México es suficiente para elaborar biodiésel que garantice el cumplimiento de las normas de calidad internacionales, siendo la transesterificación la forma más popular y eficaz para transformar el aceite vegetal o las grasas en biodiésel. La transesterificación puede realizarse mediante el uso de catalizadores o sin ellos, por lo que las variaciones en este método de producción dan pie a que, con el tiempo y el desarrollo de la innovación, se puedan reducir los

costos de producción y disminuir el uso de agua y energía en todo el proceso productivo. Es así que el proceso y la tecnología aplicada en el mercado de biodiésel en nuestro país permite garantizar un producto de gran calidad, confiable y certificado.

En lo que respecta al apartado técnico, los avances científicos y de investigación han permitido que el biodiésel per se, se considere como un producto que en lo técnico puede fungir como un bien sustituto del biodiésel, o bien, como un bien complementario del último, siempre que se cumpla con las especificaciones físico-químicas exigidas por la ASTM y las NOM (Normas Oficiales Mexicanas) en México, haciendo del biodiésel un producto que cumple con los objetivos de la transición energética.

Tratándose de la sección del marco normativo en el capítulo 2, demostramos que constitucionalmente existen artículos ligados al aseguramiento del bienestar y calidad de vida de todos los mexicanos, por lo que la conservación ambiental y las medidas que garanticen cubrir con esta demanda civil, deben ser promovidas. Con ello la Constitución Mexicana acredita la existencia de la llamada Reforma Energética, la cual dio origen a diferentes leyes que promueven el uso de energías limpias y renovables como el biodiésel, leyes como la Ley de Transición Energética, Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos además de algunos instrumentos para la promoción de biodiésel.

Cada ley establece los métodos en los que promoverá no sólo el uso de biodiésel, sino también el uso de otro tipo de energías renovables, sin embargo, estas leyes no definen un cumplimiento específico para incentivar o promover el mercado de biodiésel, generalizando la forma de aplicarse los reglamentos y originando huecos en su normatividad, además de que los instrumentos para la promoción de biodiésel no determinan la cantidad de créditos financieros que se deberán dirigir para la exclusiva promoción del biodiésel.

Para producir, transportar y comercializar biodiésel es necesario tramitar permiso ante la SENER por lo que la actividad de esta industria está contemplada por el

Gobierno de la República, sin embargo, existe una cantidad considerable de productores ilícitos quienes no certifican su producto ante las autoridades, por lo que su venta al público no sólo es ilegal, sino que fracturan la aceptación del consumidor ofreciendo un producto que afecta los motores y disminuye la demanda de los productores certificados y registrados ante la SENER. A pesar de lo anterior, las autoridades como la SENER y la CRE no aplican la legalidad multando o clausurando este tipo de negocios ilícitos, afectando la competencia y dañando el desarrollo del mercado de biodiésel, bajo esta nula aplicación de la fiscalía, la motivación de los empresarios se reduce para continuar produciendo este biocombustible.

Además de cubrir con los permisos relacionados con la producción, transporte y comercialización, la actividad de la industria del biodiésel debe estar acreditada y asegurada con las NOM, por lo que la seguridad del trabajador, de la comunidad y la calidad del producto deben de estar garantizadas. Bajo esta normatividad, las especificaciones cumplen con sus objetivos, sin embargo, se carece de normas que establezcan el mezclado de biodiésel a diésel, ya que las mezclas B6 a B20 pueden ser alternativas para seguir utilizando diésel complementándolo con biodiésel, por lo que desafortunadamente al no existir normas que expongan los métodos para un correcto mezclado, puede ocasionar problemas en el mecanismo de los motores además de perjudicar al mercado de biodiésel en un área donde podría, como se dijo antes, utilizarse como complementario del biodiésel.

El gobierno de México ha establecido un marco normativo que en teoría dota de los mecanismos legales necesarios para el desarrollo de un mercado de biodiésel competitivo, sin embargo, su aplicación y la generalidad de sus leyes provocan huecos que las autoridades no han contemplado, el hecho de carecer de normas para el mezclado, o bien, la intervención cuando se comercializa de manera ilegal son aspectos que detienen la evolución de la industria del biodiésel.

Las leyes existentes deberían de incentivar la creación de un manual de mercado similar al de la ya desarrollada industria eléctrica, a medida que se busque atraer inversión privada para motivar el crecimiento del mercado de biodiésel. De esta



forma los huecos legales y la aplicación de la normatividad serán mejor vigiladas por las autoridades, formando así un mercado con una estructura que fomente la competencia, la inversión, y por supuesto el dinamismo de la economía.

A nivel internacional, descubrimos que el biodiésel se ha comercializado principalmente entre países de América y Europa, por lo que se demuestra que este producto puede traer beneficios tanto a empresarios como a gobiernos enteros, por lo que en el capítulo 3 definimos distintas barreras que limitan el desarrollo del mercado de biodiésel, resaltando aspectos económicos como el reducido tamaño de las plantas productoras, la dificultad para conseguir satisfacer la demanda de materia prima, legales como la ausencia de la aplicación fiscal en esta industria, sociales por que no existen estrategias que fomenten la aceptación de la población, políticas por que la posición del gobierno federal no otorga la confianza para concentrar inversión en el uso de energías renovables en general, y ambientales derivado de las correctas formas de producir, transportar y comercializar biodiésel sin dañar el medio ambiente. Cada una de estas limitaciones debe ser resulta de acuerdo a su complejidad, por lo que, de tratar de encontrar solución, los empresarios dedicados a la industria del biodiésel y las autoridades correspondientes deberán colaborar para diseñar tácticas que mitiguen estas barreras.

Se ha demostrado que la tendencia del precio del diésel continua al alza, por lo que se ha presentado una oportunidad para que el biodiésel pueda ser aceptado por los consumidores, de manera que el aumento del precio de primera mano y el precio en estaciones de servicio del diésel dan apertura para que la cantidad de producción de biodiésel aumente. Con ello, se demostró que al calcular el costo de producción del biodiésel utilizando aceite residual, los empresarios podrían adquirir beneficios si se concentraban en un esquema donde además de producir, se encargaran de la recolección del aceite residual, dando un mayor margen para generar utilidades. Es así que, con el aumento de los precios del diésel, el biodiésel es un producto que puede ofrecerse por debajo del precio de mercado del diésel.

Se encontró que, en México, de acuerdo con los registros de SENER, la mayoría de las sociedades o empresas con permisos para producir están compuestas por centros de investigación o empresas pequeñas, por lo que su producción es menor o igual a 500 litros diarios, cantidad que no permite generar beneficios suficientes como para mantener la inversión en esta actividad por un largo plazo. Se encontró también que, de momento, no existe empresa alguna que se dedique a las tres actividades principales, es decir, producción, transporte y comercialización, por lo que, al no efectuar todo el círculo del mercado, las empresas podrían dificultar sus posibilidades para disminuir costos. En general determinamos que el tamaño de mercado no impacta dentro del sector energético, no obstante, esto podría ser una oportunidad si se pensará en la puesta en marcha de plantas que generen miles de litros diarios.

Sobre cantidad de oferta y demanda del biodiésel, éstas se determinarán en gran medida por el precio de referencia del diésel, siendo este delimitado por el gobierno federal. Bajo este contexto podemos decir que el mercado de biodiésel se mantendrá activo mientras que el precio del diésel esté por encima de los costos de producción del biodiésel

En el modelo financiero se estableció la posibilidad de generar utilidades para los productores de biodiésel, haciendo que el desarrollo de su mercado se dé mayor interés tanto para el sector privado como para el gobierno en general. En este modelo se determinó que al llevar un ejercicio financiero estratégicamente la inversión es recuperada y los beneficios contra los costos son mucho mayores, lo cual motivaría a incrementar la cantidad producida.

El mercado de biodiésel es un mercado prometedor, reconocemos que a medida que se eliminen las barreras que limiten su crecimiento éste otorgará a sus promotores beneficios tanto económicos como sociales. Habría entonces que diseñar estrategias que permitan mejorar el dialogo entre los impulsores (empresarios y académicos) y el gobierno federal, para que, a través del trabajo conjunto y la definición de un manual de mercado, se mejoren las leyes y la aplicación de su normatividad, puesto que el mayor problema al que se enfrenta el

mercado de biodiésel se haya en su correcta aplicación de las leyes que lo promueven. Una vez mejorado el sistema fiscal del mercado de biodiésel, será posible establecer “las reglas del juego” que otorguen confianza y certidumbre a los inversionistas interesados no sólo en el sector energético, sino en la diversificación de su capital.

## Bibliografía

- Barnwal , B., & Sharma, M. (2005). Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renew Sustain Energy*, 363-378.
- Marticorena, A., Mandagarán, B., & Campanella, E. (2009). Análisis del Impacto Ambiental de la Recuperación de Metanol en la Producción de Biodiesel usando el Algoritmo de Reducción de Desechos WAR. *Información Tecnológica*.
- Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Reza Omidkhah, M., & Najafi, G. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management*, 138-148.
- Alcocer, J. B. (2014). Estudio sobre la viabilidad de la utilización de biodiésel en el servicio público de transporte colectivo del área metropolitana de Guadalajara. *Centro de Sustentabilidad de Energía Renovable*.
- Aracil, J. (2006). Procesos UCM de producción de biodiesel. Materias primas alternativas. *Universidad Complutense de Madrid*.
- Araya , I. (2009). *Efecto de la utilización de biodiesel sobre las emisiones de vehículos pesados*. Santiago: Universidad de Chile.
- Araya Jofré, I. (2009). *Efectos de la utilización del biodiésel sobre la emisión de vehículos pesados*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- ASTM. (2003). *D975-06b standard specification for diesel fuel oils*. USA: ASTM. Int.
- Barnwal, B., & Sharma, M. (2005). Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Energy Rev*, 363-378.
- Bart, J., Palmeri, N., & Cavallaro, S. (2010). Biodiesel science and technology: from soil to. *CRC Press Taylor & Francis Group*.
- Beckman, C., & Junyang, J. (2009). People's Republic of China biofuels annual report 2009. *Network GAI*.

- Beltrán, L., & Alexadri, R. (2017). *Balance Nacional de Energía*. México: SIE.
- Benjumea, P., Agudel, J., & Agudelo, A. (2008). Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends. *Fuel. Bioresource Technology*, 1196-1203.
- Bhattacharyya, S. (2011). The economics of renewable energy supply. *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*, 249-271.
- Bioxcorp. (2008). *BIOX Process*.
- Boocock, D., Konar, S., Mao, V., & Sidi, H. (1996). Fast one-phase oil-rich processes for the preparation of vegetable oil methyl esters. *Biomass Bioenergy*, 43-50.
- Cámara de Diputados. (2015). *LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA*. México.
- Canakci, M., & Sanli, H. (2008). Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 431-441.
- Castro, P., Coello, J., & Castillo, L. (2007). Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú. *Soluciones prácticas-ITDG*.
- Cerveró, V., Coca, J., & Luque, S. (2000). Production of biodiesel from vegetable oils. *Grasasy Aceites*, 76-83.
- Chang, A.-F., & Liu, Y. (2009). Integrated process modeling and product design of biodiesel manufacturing. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 197-213.
- Conceição, M., Candeia, R., Silva, F., Bezerra, A., Fernandes, V., & Souza, A. (2007). Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 964-975.
- Constituyente, C. (2019). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México.

- CONUEE. (2016). *Estrategias de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios*. México: SENER.
- Crece la venta y el consumo de biocombustibles en México. (2018). *Informador*.
- Da Costa, R., Silva, E., Yáñez, E., & Torres, E. (2007). *The energy balance in the production of palm oil biodiesel-two case studies: Brazil and Colombia*. Itajubá: Federal University of Itajubá.
- Di Serio, M., Cozzolino, M., Tesser, R., Patrono, P., Pinzari, F., & Bonelli, B. (Appl Catal A: Gen 2007). *Vanadyl phosphate catalysts in biodiesel productio*.
- Diputados, C. d. (2014). *LEY DE LA AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y DE PROTECCIÓN AL*. México.
- DOF. (2008). *ACUERDO POR EL QUE SE EMITEN LOS LINEAMIENTOS PARA EL OTORGAMIENTO DE PERMISOS PARA PRODUCIR, TRANSPORTAR Y COMERCIALIZAR BIOENERGÉTICOS DEL TIPO ETANOL ANHIDRO (BIOETANOL), BIODIESEL, BIOTURBOSINA Y BIOGÁS*. México.
- Doménech, J. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid: España.
- Dufey, A., Vermeulen, S., & Vorley, B. (2007). Biofuels: strategic choices for commodity dependent developing countries. *The Netherlands: International Institute for Environment and Development-Common Fund for Commodities*, 72.
- ECOFYS. (2016). *Situación del biodiésel en México*. México.
- Energía, S. d. (2016). *Prospectivas de Energías Renovables*. México.
- Enweremadu, C., & Mbarawa, M. (2009). Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oi. *Renew Sust Energy Rev*, 2205-2224.
- Estrada, J. (2019). Visión de largo plazo en la política energética; principios orientadores. *Energía a debate*.

- Fischer, V., Hizsnyik, E., Priele, S., Shah, M., & Velthuisen, H. (2007). Biofuels and food security. *International Institute for Applied Systems Analysis*.
- Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 405-416.
- Ganduglia, F. (2009). *Manual de biocombustibles*. Montevideo: ARPEL.
- Gerpen, J. (2005). Biodiesel processing and production. *Fuel Process Technol*, 86-107.
- Gobierno de la República. (2013). *Estrategia nacional de cambio climático*. México.
- Gobierno de la República. (2013). *Programa especial de cambio climático*. México.
- Gobierno de la República. (2014). *Reforma Energética*. México.
- Goff, M., Bauer, N., Lopes, S., Sutterlin, W., & Suppes, G. (2004). Acid-catalyzed alcoholysis of soybean oil. *J Am Oil Chem Soc*, 415-420.
- Graboski, M., & McCormick, L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 164.
- Granjo, J., Duarte, B., & Oliveira, N. (2009). Kinetic Models for the Homogeneous Alkaline and Acid Catalysis in Biodiesel Production. *El sevier*, 483-488.
- Granjo, J., Duarte, B., & Oliveira, N. (2009). Kinetic Models for the Homogeneous Alkaline and Acid Catalysis in Biodiesel Production.
- Gui, M., Lee, K., & Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock.
- Gutiérrez, L., Sánchez, O., & Cardona, C. (2007). Integrated production of biodiesel from. *European Congress of Chemical*.
- H. Cámara de Diputados. (2013). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. México.

- Hama, S., Yamaji, H., Kaieda, M., Oda, M., Kondo, A., & Fukuda, H. (2004). Effect of fatty acid membrane composition on whole-cell biocatalysts for biodiesel-fuel production. *Biochem Eng J*, 155-160.
- Helwani, Z., Othman, M., Aziz, N., Kim, J., & Solid, W. (2009). Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: a review.
- Hoh, R. (2010). Malaysia biofuels annual report 2010. Kuala Lumpur: USDA Foreign Agricultural Service. *Network GAI, editor*.
- Huerta, C. (1998). *Las Normas Oficiales Mexicanas en el ordenamiento jurídico mexicano*. México: Boletín Mexicano de Derecho Comparado.
- Imahara, H., Minami, E., & Saka, S. (2006). Thermodynamic study on cloud point of biodiesel with its fatty acid composition. 1666-1670.
- IMP. (2016). *Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico*. México: SENER.
- IMP. (2018). *Diagnóstico tecnológico. CEME BIO. Clúster biodiésel avanzado*. México.
- Januan, J., & Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renew Sustain Energy Rev*, 14-20.
- Jitputti, J., Kitiyanan, B., & Rangsunvigit, P. (2006). Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. *J Chem Eng*, 116.
- Kawashima, A., Matsubara, K., & Honda, K. (2009). Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production. *Bioresour Technol*, 696–700.
- Kaya, C., Hamamci, C., Baysa, A., Akba, O., Erdogan, S., & Saydut, A. (2009). Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Renewable Energy*, 1257-1260.



- Kessel, N. (2009, Enero). *ASTM establece las normas para el biodiésel*. Retrieved Enero 2019, from ASTM Standardization News: [https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson\\_spjf09.html](https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html)
- Khan, A. (2002). *Research into biodiesel kinetics and catalyst development*. Queensland: University of Queensland.
- Knothe. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*.
- Kocak, M., Ileri, E., & Utlu, Z. (2007). Experimental study of emission parameters of biodiesel fuels obtained from canola, hazelnut, and waste cooking oils. *Energy Fuels*.
- Kouzu, M., & Hidaka, J. (2011). Transesterification of vegetable oil into biodiesel catalyzed by CaO: a review.
- López, P. (2019, Febrero 13). Europa reabre el mercado para el biodiesel argentino. *El Economista*.
- Ma, F., & Hanna, M. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresour Technol*, 1-15.
- Marchetti, J., Miguel, V., & Errazu, A. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renew Sust Energy Rev*.
- Marticonera, A., Mandagarán, B., & Campanella, E. (n.d.). Análisis del impacto ambiental de la recuperación de metanol en la producción de biodiésel usando el algoritmo de reducción de desechos WAR. *Información tecnológica*.
- Mata, T., Martinis, A., & Caetano, A. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 217-232.

- Meher, I., Kulkarni, M., Dalai, A., & Naik, S. (2009). Transesterification of karanja (*Pongamia pinnata*) oil by solid basic catalysts. *Eur J Lipid Sci Technol*, 389-397.
- Moreira, E. (2012). Principales características de las materias primas utilizadas en la producción de biodiesel: La influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos. *INGENIUEM*, 53-61.
- Moreno, M. (2010). La economía de mercado. *Blog S*.
- Muciño, F. (2014). Los 18 puntos que debes saber de la reforma energética. *Forbes México*.
- Nabi, M., Rahman, M., & Akhter, M. (2009). Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. *Applied Thermal Engineering*, 2265-2270.
- Nava, D. (2019, Octubre 30). IP critica cambios de Sener para certificar energías limpias. *El Financiero*.
- Nava, D., & Villamil, J. (2020, Enero 28). No hay oportunidad para invertir en sector energético de México: Carlyle. *El Financiero*.
- Niño, G., Mendivil, A., Velasco, A., & García, G. (2017). *Marco jurídico de las energías renovables en México*. México: CEMDA.
- OCDE. (2017). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*.
- Oliveira, J., Leite, P., de Souza, L., Mello, V., & Sil, E. (2009). Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy*, 449-453.
- Park, J., Lee, P., & Kim, J. (2008). Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties. *Bioresource Technology*, 1196-1203.
- Petersen, C. (2020, Enero 23). Frena AMLO lentamente reforma energética. *Reforma*.

- Phan, A., & Phan, T. (2008). Biodiesel production from waste cooking oils. *Energy Fuels*.
- Prueksakorn, K., Gheewala, S., Malakul, P., & Bonnet, S. (2010). Energy analysis of jatropha. *Energy Sustain Dev*.
- Ramos, M., Casas, L., Rodríguez, L., Pérez, Á., & Fernández, M. (2008). Influence of fatty acid composition of raw materials. *Bioresource Technology*, 261-268.
- Ranganathan, S., Narasimhan, S., & Muthukumar, K. (2008). An overview of enzymatic production of biodiesel. *Bioresour Technol*.
- República, B. d. (2017). *Reforma Energética*. México.
- Riegelhaupt, E., Odenthal, J., & Janeiro, L. (2016). Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento. *ECOFYS*.
- Rincón, L., Jaramillo, J., & Cardona, C. (2014). Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production:.. (479-487, Ed.) *Renewable Energy*.
- Ríos, E., Ramos, R., & Cruz, R. (2017). *Mapa de ruta tecnológica de biodiésel*. México: SENER.
- Robles, P., González, L., Cerdán, E., & Molina, G. (2009). Biocatalysis: towards ever greener biodiesel production. *Biotechnol Adv* , 398-408.
- Rodríguez, V. (2018). *Seguridad energética. Análisis y evaluación del caso de México*. México: CEPAL.
- Rosas, A. (2020, Enero 12). AMLO, Presidente conservador. *El Universal*.
- SAGARPA. (2016). *Planeación agrícola nacional 2017-2030*. México: SAGARPA.
- Sandoval, G. (2010). Biocombustibles avanzados en México. *Cuadernos temáticos sobre bioenergía*.
- Sarin, R., Sharma, M., Sinharay , S., & Malhotra, R. (2007). Jatropha– Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. 1365-1371.

- Schuchardt, U., Serchelia, R., & Vargas, R. (1998). Transesterification of vegetable oils: a review. 199-210.
- SEDEMA. (2018). *Emite Sedema norma ambiental en materia de manejo de grasas y aceites de origen animal y vegetal*. Ciudad de México.
- SEMARNAT. (2007). *NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004*. México.
- SEMARNAT. (2019). *Manifestación de Impacto Ambiental (MIA)*. México.
- SENER. (2014). *Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía*. México.
- SENER-IMP. (2017). *Mapa de ruta tecnológica de biodiésel*. México.
- Sharma, Y., Singh, B., & Upadhyay, S. (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *El Sevier*, 2355-2373.
- Singh, A., & Fernando, S. (2007). Reaction kinetics of soybean oil transesterification. *Chem Eng Tech*, 1-7.
- Tan, K., Lee, K., & Mohamed, A. (2009). Production of FAME by palm oil transesterification via supercritical methanol technology. *Biomass Bioenergy*.
- Tan, K., Lee, K., & Mohamed, A. (2009). Production of FAME by palm oil transesterification via supercritical methanol technology. *Biomass Bioenergy*, 1096.
- Tejeda, C., Tejeda, L., Villabona, Á., & Monroy, L. (2010). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.
- UNIÓN, C. D. (2019). *LEY DE DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE*. México.
- Urtusuástegui, M. (2018). Crece la venta y el consumo de biocombustibles en México. *El informador*.

- Vargas, R. (2017). La Reforma Energética: a 20 años del TLCAN. *SicElo Analytics*.
- Villarín, J. (2019, Abril 19). Cae 12% importación de gasolina y diésel. *El Sol de México*.
- Wang, L., Yang, & J. (2007). Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol. 328-367.
- Zhang, Y., Dubé, M., McLean, D., & Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technological assessment. *Bioresour Technol*, 89.
- Zheng, D., & Hanna, M. (1996). Preparation and properties of methyl esters of beef tallow. *Bioresour Technol* , 137.