



UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS HUATULCO

EL BIODIÉSEL COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO
SOSTENIBLE.

CASOS DE ESTUDIO: MÉXICO Y BRASIL

T E S I S

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN RELACIONES INTERNACIONALES: MEDIO AMBIENTE

PRESENTA:

L.R.I EDÉN HERNÁNDEZ VÁSQUEZ

DIRIGIDO POR:

DRA. VALENTINA PRUDNIKOV ROMEIKO

OAXACA, MÉXICO, DICIEMBRE DE 2017.

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a los campesinos de México y Brasil. A nuestros ancestros

(Como mi abuelo Germán quien me enseñó tantas lecciones y fue un ejemplo para su

generación con su valor para innovar y cambiar la forma de hacer las cosas), a los

presentes (como mi padre que aunque siempre duda y cuestiona, siempre me apoya

también, a mi madre por su constancia y esfuerzo para que salgamos adelante, a mi

mujer, Rosalinda que con su paciencia y constancia me motiva cada día),

pero sobre todo a las generaciones futuras, como Marcos,

Danilo, Siberia, Michelle, Haley, Angelina y Edén, quienes tienen en sus manos las

herramientas para conducir a nuestro

País a un gran futuro en el Siglo XXI.

Y por supuesto, agradezco todo el apoyo a la Dra. Valentina, ya que sin su apoyo y

Consejos jamás habría terminado.

ÍNDICE

	Página
Introducción.....	10
CAPITULO I. EL BIODIESEL Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	
SOSTENIBLE.....	17
1.1. El paso del desarrollo económico tradicional al desarrollo sostenible.....	17
1.1.1. Del econocentrismo al ecodesarrollo.....	18
1.1.2 La acuñación del desarrollo sostenible.....	21
1.2. La sostenibilidad abordada desde la economía ecológica.....	22
1.2.1. La interacción entre la energía y la economía.....	23
1.2.2. La energía sostenible.....	24
1.3. La dimensión social del desarrollo sostenible.....	26
1.3.1. Una nueva forma de medir el progreso humano.....	27
1.3.2. Movilidad, medio ambiente y desarrollo.....	28
1.4. La dimensión ambiental del desarrollo sostenible.....	31
1.4.1. Los ecosistemas y el entorno humano.....	32
1.4.2. La administración sostenible de los recursos renovables a través de la Eco-agricultura.....	33
CAPITULO II. EL PROGRAMA NACIONAL PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL EN BRASIL COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	
SOSTENIBLE.....	37
2.1. El contexto energético internacional como catalizador del uso del biodiesel	37
2.1.1. El modelo energético brasileño.....	40
2.1.2. Estructura del mercado de combustibles fósiles automotores en Brasil.....	41
2.1.3. Análisis del mercado interno del diésel fósil en Brasil.....	42
2.1.4. Impactos ambientales y sociales del uso de diésel fósil en Brasil.....	43
2.2. El Programa Nacional para la Producción y Uso del Biodiésel de Brasil como una estrategia de desarrollo sostenible	46
2.2.1 Los objetivos del Programa Nacional para la Producción del Biodiésel en	

Brasil (PNPB)	46
2.2.2. El marco legal del PNPB.....	48
2.2.2.1. La creación del mercado nacional del biodiésel mediante la ley federal 11.097	48
2.2.3. Desarrollo e innovación: La Red Brasileña de Tecnología de biodiésel como catalizadora de los Proyectos de biodiésel.....	49
2.2.3.1. Dos modelos de producción industrial de biodiésel.....	51
2.3. La viabilidad económica del biodiésel a partir de la agricultura en Brasil.....	52
2.3.1. El potencial agrícola de Brasil.....	52
2.3.1.1. Cultivos convencionales con dominio tecnológico.....	55
2.3.1.2. Cultivos potenciales para la producción de biodiésel.....	62
2.3.3. Preponderancia de materias primas y de regiones en el PNPB.....	67
2.4. La inclusión social en Brasil a través del biodiésel.....	70
2.4.1. La agricultura familiar en Brasil: Definición e importancia.....	71
2.4.2. El sello de combustible social como garante de la inclusión social.....	72
2.4.3. Estructura financiera del PNPB en Brasil.....	73
2.5. El biodiésel y el medio ambiente.....	77
2.5.1. Análisis de la huella de Carbono.....	78
2.5.2. Análisis del balance energético del biodiésel.....	80
CAPITULO III. EL BIODIÉSEL EN MEXICO. UNA PROPUESTA DEDESARROLLO RURAL ENERGÍA SOSTENIBLE Y EQUILIBRIO AMBIENTAL.....	83
3.1. La política energética de México.....	83
3.1.1. La reforma energética en México.....	84
3.1.2. La crisis en el sistema nacional de refinación.....	88
3.1.3. El monopolio energético del petróleo en México.....	91
3.1.4. Las limitaciones en el desarrollo combustibles alternativos en México.....	92
3.1.5. La Crisis ambiental en las ciudades mexicanas.....	94
3.2. El marco legal como catalizador del uso de biocombustibles.....	104

3.2.1. La Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos.....	105
3.2.2. La NOM-086: catalizador para los combustibles alternativos.....	105
3.2.3 El papel del biodiésel en el transporte sostenible en las ciudades mexicanas.....	108
3.3. El cambio climático y sus efectos en la generación de la energía y la agricultura.....	110
3.3.1. La mitigación de Gases de Efecto Invernadero mediante el uso del biodiésel.....	110
3.3.2. Las ventajas ambientales para la utilización del biodiésel en México.....	111
3.4. La inserción de la bioenergía en la política agrícola de México.....	112
3.4.1. La crisis agrícola de México desde un contexto histórico.....	113
3.4.2. La reorientación de la política agrícola en México.....	115
3.4.3. Las limitaciones en el uso de la bioenergía.....	116
3.4.4. La bioenergía como una salida a la crisis agrícola mexicana.....	117
3.5. El biodiésel sostenible: oportunidades y desafíos para México.....	119
3.5.1. Dos modelos de producción sostenible de biodiésel en México.....	121
3.5.2. La Higuierilla (<i>Ricinus comunis</i>): Una fuente de biodiésel polivalente.....	121
3.5.2.1. El balance energético del biodiésel de higuierilla.....	124
3.5.3. El piñón mexicano (<i>Jatropha curcas</i>) como opción bioenergética sostenible.....	129
3.5.3.1. El balance energético del biodiésel del piñón mexicano.....	132
3.6. El desarrollo rural sostenible a través de la bioenergía.....	134
3.6.1. La agricultura ecológica como una propuesta a la producción de biodiésel.....	135
CONCLUSIÓN.....	140
BIBLIOGRAFÍA.....	148
REFERENCIAS WEB.....	154

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Múltiples aplicaciones del motor diésel en el mundo.....	39
Cuadro 2. Mezcla del biodiésel autorizada en Brasil por la Ley Federal 11.097.....	49
Cuadro 3. Potencial agrícola de Brasil a partir de la interacción de tres variables.....	53
Cuadro 4. Cadena productiva de la palma macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>) en Brasil.....	64
Cuadro 5. Cadena productiva de la palma babazú (<i>Orbignya phalerata</i>)	65
Cuadro 6. Los cultivos perennes y el medio ambiente.....	81
Cuadro 7. Comparativo de las partículas por millón de azufre en los combustibles vendidos en México.....	106
Cuadro 8. Alternativas sustentables para el transporte.....	109
Cuadro 9. Diagrama del balance energético.....	125
Cuadro 10. Etapas del balance energético del biodiésel.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las teorías del desarrollo.....	17
Figura 2. Interacción entre el Planeta Tierra y el subsistema económico.....	23
Figura 3. Estructura de la renta económica a nivel mundial.....	28
Figura 4. Los efectos del sistema de transporte.....	30
Figura 5. Pilares del biodiésel.....	47
Figura 6. Estructura de la Red Brasileña de Tecnología de biodiésel.....	50
Figura 7. Cadena productiva de la Soya.....	56
Figura 8. Huella de carbono del biodiésel durante su etapa productiva.....	78
Figura 9. Alternativas sustentables para el transporte.....	100
Figura 10. Eficiencia de los combustibles fósiles y los biocombustibles.....	101

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Las fuentes de energía primaria en Brasil.....	40
Gráfica 2. El diésel y el mercado de combustibles en Brasil.....	43
Gráfica 3. Evolución de la producción agrícola en Brasil.....	54
Gráfica 4. La Agricultura Familiar en Brasil.....	71
Gráfica 5. Comparativo de la matriz energética de México y Brasil.....	83
Gráfica 6. Relación entre la producción de petróleo y la inversión destinada a la exploración.....	85
Gráfica 7. Montos de inversión de PEMEX durante el periodo 2007-2012 (Miles de millones de pesos).....	86
Gráfica 8. Relación entre la producción, importación y consumo de combustibles derivados del petróleo (Relación porcentual).....	88
Gráfica 9. Consumo de petróleo por sectores en México y el mundo.....	91
Gráfica 10. Evolución de los precios de la gasolina y el diésel en México (Pesos por litro).....	101

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Especificaciones sobre el límite de azufre en combustible diésel a nivel mundial (Partes por millón).....	44
Mapa 2. Distribución geográfica y estadística de la producción de biodiésel en Brasil.	67
Mapa 3. Distribución geográfica de los agricultores familiares en el PNPB.....	75
Mapa 4. Calidad del combustible diésel en el mundo.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Polos de desarrollo de biodiésel a nivel mundial.....	39
Tabla 2. Rutas tecnológicas para la producción de biodiésel.....	51
Tabla 3. Ficha técnica de la soya.....	56
Tabla 4. Ficha técnica de la Higuierilla.....	58
Tabla 5. Ficha técnica del cacahuete.....	60

Tabla 6. Características del Girasol.....	61
Tabla 7. Características del Algodón.....	62
Tabla 8. Características de la palma macaúba.....	63
Tabla 9. Comparación entre las fuentes de materia prima para el biodiésel.....	68
Tabla 10. Instrumentos fiscales del PNPB.....	72
Tabla 11. Balance energético del biodiesel en Brasil.....	80
Tabla 12. Pérdida del excedente energético en México.....	86
Tabla 13. Comparativo internacional de consumo de combustibles.....	89
Tabla 14. Políticas públicas en materia de combustibles.....	93
Tabla 15. Importaciones del diésel en México.....	102
Tabla 16. Comparativo del biodiésel y el diésel mineral.....	107
Tabla 17. El biodiésel y su relación con la reducción de GEI.....	112
Tabla 18. Alternativas para la producción agrícola en México.....	115
Tabla 19. Inconvenientes en la producción de los biocombustibles.....	119
Tabla 20. Requerimientos agronómicos de la higuera en México.....	122
Tabla 21. Mayores rendimientos de higuera en México.....	124
Tabla 22. Balance energético de la higuera en condiciones de trópico húmedo.....	127
Tabla 23. Balance energético de la higuera en condiciones de trópico seco.....	128
Tabla 24. Ventajas del piñón mexicano (<i>Jatropha curcas</i>).....	130
Tabla 25. Desventajas del piñón mexicano (<i>Jatropha Curcas</i>).....	131
Tabla 26. Balance energético del piñón mexicano al primer año.....	133
Tabla 27. Balance energético del piñón mexicano al segundo año.....	133
Tabla 28. Oleaginosas de mayor consumo en México y el mundo.....	136
Tabla 29. Balance energético del cultivo de la higuera asociado con maíz.....	137
Tabla 30. Sistema de policultivo del piñón mexicano.....	138

LISTA DE ABREVIATURAS

AIE	<i>Agencia Internacional de Energía</i>
CENBIO	<i>Centro Nacional de Referencia en Biomasa, de la Universidad de Sao Paulo, Brasil.</i>
EMBRA	<i>Empresa Brasileira para la</i>
PA	<i>Pesquisa Agropecuaria</i>
GEI	<i>Gases de Efecto Invernadero</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileño de Geografía y Estadística</i>
INEGI	<i>Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, de México.</i>
IDH	<i>Índice de Desarrollo Humano</i>
IICA	<i>Instituto Interamericano de Cooperación en la Agricultura</i>
INIFAP	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, de México</i>
PEMEX	<i>Petróleos de México, compañía petrolera estatal mexicana</i>
PETRO	<i>Petróleos del Brasil, compañía petrolera brasileña de capital</i>
BRAS	<i>mixto</i>
PNPB	<i>Programa Nacional de Produção e uso do biodiésel, en portugués.</i>
PNUD	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo</i>
PRONAF	<i>Programa Nacional de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar (Brasil)</i>
RBTB	<i>Red Brasileña de Tecnología del Biodiésel</i>
REMBO	<i>Red Mexicana de Bioenergía</i>
SCS	<i>Sello de Combustible Social</i>



INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad, la base fundamental de su progreso civilizador se ha basado en el dominio de distintas fuentes de energía. Así, la bioenergía obtenida de la madera iluminó las cavernas, proporcionó calor y permitió la cocción de alimentos y fue la primera fuente energética de la humanidad. De este modo, la bioenergía ha acompañado a la civilización humana desde sus inicios y continúa aún con ella, sólo que ha evolucionado a la par con los avances tecnológicos que permiten su uso en motores de combustión interna.

En este contexto en el planeta Tierra existen dos recursos energéticos aprovechados por la humanidad, las energías renovables y las no renovables. Dentro de las primeras destacan: la solar, la eólica, la hidráulica y la biomasa. Esta última fuente energética se compone de los siguientes combustibles: petróleo, carbón mineral y gas natural; y son la mayor fuente de energía de mayor utilización.

El problema de investigación

Ante este panorama, se ha planteado la inminente transición energética a escala planetaria, la cual debe de permitir a la humanidad minimizar el impacto ambiental pero sin socavar el bienestar social. En este contexto, surge de la inquietud de estudiar al sistema energético actual en un aspecto focalizado en las energías renovables basadas en la biomasa y con ello proponer una alternativa de política pública para realizar una transición hacia un modelo energético sostenible. De esta forma, una de las alternativas energéticas de mayor uso y viabilidad aplicadas en el mundo han sido los biocombustibles, los cuales reciben esta denominación por su origen orgánico y renovable al provenir de materias de origen vegetal o animal.

La factibilidad de este tipo de combustibles obedece a su compatibilidad con los combustibles derivados del petróleo. En este aspecto, la investigación se ha enfocado hacia el biodiésel, biocombustible que se produce a partir de la reacción química, denominada transesterificación, de un aceite orgánico (vegetal o animal) con un alcohol (etanol o metanol) unidos por la acción de un catalizador (Sandoval, Septiembre 2010). El biodiésel es uno de los biocombustibles de mayor relevancia a escala mundial debido a que puede ser utilizado como sustituto de forma parcial o total del diésel mineral proveniente del petróleo y por ende utilizarse en distintos sectores que demandan este tipo de combustible tales como en el transporte

(automóviles, autobuses, trenes, barcos y camiones), agrícola (tractores, cosechadoras y sistemas de riego) e industrial (generadores de electricidad). De este modo, el biodiésel ocupa un carácter estratégico para cualquier país del mundo porque constituye una alternativa a un combustible polivalente e indispensable.

Ante el contexto expuesto, la investigación tiene como objetivo realizar un estudio comparativo sobre las iniciativas gubernamentales aplicadas a la investigación y uso del biodiésel en Brasil para analizar su viabilidad como una estrategia de desarrollo sostenible en México. Esta línea de investigación surge a partir de las similitudes estructurales entre ambos países, tales como el nivel de desarrollo socio-económico, abundancia de materias primas pero con una escasa integración y valor agregado de sus productos. De este modo, la convergencia entre ambos países latinoamericanos en el tema energético constituye un vínculo común para construcción de un modelo de desarrollo sostenible local. De este modo, ha sido importante analizar previamente que en ambos casos el diésel es de extrema importancia para los sectores económicos de mayor importancia exportadora para ambos países: el sector agro-industrial en el caso de Brasil y el transporte de manufacturas en el caso de México. No obstante, el crecimiento económico registrado en ambos países ha ocasionado un aumento de la demanda de diésel tradicional por lo que han recurrido a importaciones provenientes mayoritariamente de los Estados Unidos. Ante esta problemática surge una paradoja, por un lado, el aumento de la factura internacional conlleva a una disminución en la disponibilidad de recursos económicos destinados al desarrollo nacional y al mismo tiempo, la combustión de los combustibles fósiles genera la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales son los principales responsables del cambio climático, pero además de que su combustión local empeora las condiciones de vida de sus dos principales centros urbanos, la Ciudad de México y Sao Paulo, Brasil. Por otra parte, México y Brasil son países con un sector agrícola, el cual aún presenta rezagos de desarrollo en comparación con otras regiones del mundo, por lo que el desarrollo de los biocombustibles es una ventana de oportunidad para dicho sector productivo.

Por ello, ante el contexto previamente expuesto, el biodiésel aparece como una alternativa útil debido que a diferencia del petróleo su combustión es neutra en emisiones de GEI al provenir de una fuente orgánica y con ello puede coadyuvar al desarrollo rural al trasladar recursos monetarios provenientes del gasto de energía, uno de estos rubros es la generación de energía por medio de la biomasa. En este sentido, Brasil ha sido elegido como caso de estudio debido a que el

país latinoamericano destaca por ser un referente a nivel mundial al obtener el 29% de su energía primaria a partir de la biomasa (REN 21, 2016). Por este motivo, constituye un ejemplo para México, ya que actualmente no es un referente en el desarrollo e implementación de proyectos de energía renovable a escala mundial. Cabe apuntar que en el caso de México, una de las limitantes del desarrollo de estas nuevas fuentes energéticas ha sido la abundancia de yacimientos petroleros y los precios altos. No obstante, ante el agotamiento de las fuentes de energía no renovables y otros factores anteriormente mencionados es necesario iniciar un proceso de transición energética que permita llevar a México hacia un desarrollo sostenible con una distribución de ingresos más equitativa y un menor impacto ambiental.

El Estado de la cuestión

Ante el nuevo escenario de la transición energética, surge la necesidad de investigar la interacción entre la producción del biodiésel y sus implicaciones desde una óptica multidisciplinaria. Por ello, la presente investigación se apoya en diversos estudios que se han escrito sobre el biodiésel desde distintas disciplinas. Primero hay que apuntar de forma general que la utilización de biocombustibles representa una cadena de desafíos y oportunidades para los países que los implementan. Por una parte, en el análisis crítico hacia el uso de los biocombustibles encontramos estudios que cuestionan su producción, especialmente por su bajo balance energético, es decir poseen una baja relación entre la energía invertida y la energía generada. En este tema, Runge y Senaur (Mayo-Junio de 2007) argumentan que el etanol producido a partir de maíz amarillo consume prácticamente la misma energía que la que sustituye, ya que la cosecha del cereal está altamente mecanizada y requiere de insumos derivados del petróleo. Además, señalan que no existe una oferta infinita de maíz para suplir al mayor mercado energético mundial, Estados Unidos de América, y que tampoco son una fuente energética sostenible al depender de fertilizantes y combustibles fósiles para su producción.

Asimismo, Molina (2014) señala que la producción de etanol a partir del maíz resulta una competencia directa para el consumo humano, por lo tanto, es una contradicción decir que se trata de un modelo sostenible de energía. En este aspecto coinciden con las investigaciones derivadas del Instituto para la Investigación de la Política Alimentaria Internacional de la Universidad de Washington, las cuales señalan que el precio del maíz en el mercado mundial aumentó un 20% en 2011 y aumentará un 41% en 2020, como efecto del aumento del petróleo y de la demanda del cereal para la producción de etanol (Budny y Sotero, Abril de 2007).

Por otra parte, Puerto Rico (2008) señala que al igual que otras actividades agrícolas, los biocombustibles generan impactos ambientales, las cuales pueden disminuir en función del proceso productivo mediante el que se obtienen. Así, un caso de éxito ha sido Brasil, país que ha alcanzado una mayor competitividad respecto a Estados Unidos en la producción de etanol, mediante la conjunción de factores geográficos e innovaciones tecnológicas locales, ya que la caña de azúcar es un cultivo que genera una mayor cantidad de biomasa que el maíz amarillo, por lo tanto su rendimiento en producción de etanol es superior. En refuerzo de esta posición, Sachs (2007), argumenta que los biocombustibles son una alternativa real para el desarrollo rural y de este modo hay que construir un nuevo modelo de desarrollo que no ha podido resolver la economía de mercado. Además señala que no basta sustituir a las energías fósiles por energías alternativas sino que es necesaria una fuente energética que mitigue las emisiones de GEI, como si lo puede hacer la biomasa.

Como puede observarse existe un amplio debate en torno al desarrollo y producción de los biocombustibles en diversas partes del mundo. No obstante, hasta el momento solo se ha hablado de los problemas derivados de la producción de etanol en los Estados Unidos y de las ventajas que ofrece la caña de azúcar en Brasil como insumo bioenergético. Finalmente, puede resumirse que el principal obstáculo a la producción de biocombustibles es la materia prima de la cual se produce, esta problemática comienza con el sistema de producción agrícola vigente en cada país. Por ello, los defensores de los biocombustibles sostienen que las grandes ventajas para estimular este tipo de energía renovable radican en que representan una oportunidad para renovar el sistema de producción agrícola vigente en el mundo.

Por otra parte, cabe señalar que una de las limitaciones de la presente investigación ha sido la ausencia de estudios específicos sobre el biodiésel, ya que bajo el nombre de biocombustibles se incluyen estudios sobre el etanol, cuando en realidad se trata de combustibles diferenciados, con procesos de producción y aplicaciones totalmente distintos, por ende la primicia y originalidad de la investigación. Aunado a lo anterior y para el objeto de estudio, cabe mencionar que Brasil es un país emblemático por tratarse de un ejemplo único en el mundo, en el que una política energética es aplicada con una marcada connotación social, objetivos ambientales y geopolíticos al pretender disminuir la dependencia y vulnerabilidad del país en el mundo del petróleo.

Durante el desarrollo de la investigación se analizó la dependencia del sistema de transporte hacia dos combustibles derivados del petróleo, ya que actualmente la economía global depende dos tipos de motores de combustión interna. El primero es el motor de ciclo Otto, conocido comúnmente como de gasolina y el segundo es el motor ciclo diésel, cuyo combustible es el diésel. Desde el punto de vista económico, un motor de gasolina es más barato, tanto en costo de adquisición como de operación, mientras que un motor diésel demanda una mayor inversión en ambos casos, por esta razón a nivel mundial predominan los vehículos de gasolina. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, los motores diésel poseen mejores propiedades que sus contra-partes, por ejemplo, un motor de gasolina transforma el 30% de la energía química contenida en un litro de carburante en energía mecánica, mientras que un motor diésel lo hace en un 45% (Ashley, Marzo de 2007). Precisamente, la mayor ventaja de los motores diésel es su eficiencia de combustible y por esta razón han predominado en regiones con una baja disponibilidad de petróleo, como la Unión Europea, Argentina, Brasil y la India, mientras que, en aquellos países productores de petróleo, como Estados Unidos, México, Arabia Saudita o Rusia predominan los motores de gasolina (Lyll, 2005).

De igual forma ha sido importante establecer diferencias entre los dos tipos de motores de combustión interna, los combustibles fósiles que utilizan y los biocombustibles que pueden sustituir total o parcialmente a los combustibles no renovables. En este contexto, tenemos tres diferencias entre el etanol y el biodiésel. La primera es que el principal problema del etanol, el biocombustible de mayor producción mundial, con un 74% del total (REN 21, 2016), es que sustituye a la gasolina y los motores que utilizan este tipo de combustibles son poco eficientes. La segunda, son las importantes diferencias en la utilización de ambos motores de combustión interna. Además, mientras que los motores de gasolina se destinan mayoritariamente al transporte privado e individualizado, los vehículos diésel predominan en la maquinaria agrícola, el transporte público y en el de mercancías. Por último, el biodiésel por sus características químicas puede ser utilizado en mayor proporción en los motores diésel, en contraste para utilizar etanol se requieren mayores modificaciones en los motores, con ello se incrementa el costo económico. Con los tres puntos expuestos anteriormente, podemos concluir que el biodiésel es un combustible más eficiente energéticamente, tiene un carácter estratégico en la economía y es altamente compatible con los motores utilizados en la actualidad.

La hipótesis

La investigación se desarrolla en un contexto de incertidumbre energética e inestabilidad geopolítica. Por esta razón, dichas variables son tomadas en cuenta para establecer la siguiente hipótesis:

La producción de biodiésel representa una alternativa de desarrollo sostenible para el sector rural mexicano y el medio ambiente.

Metodología

Para desarrollar la investigación se utilizó el método comparativo aplicado a las Relaciones Internacionales. Este consiste en el análisis de un determinado número de casos, comprendiendo al menos dos observaciones. Con el método comparativo se puede analizar una comparación entre los principales elementos del objeto de estudio (constantes, variables y relaciones). Este método obliga a descubrir las semejanzas, mediante una búsqueda analógica; las diferencias, búsqueda diferenciada; o las oposiciones, búsqueda antagónica. El método comparativo permite encontrar los sucesos o variables que se repiten en diversas realidades (carácter de generalidad) y que son exclusivos (singularidad). En la medida en que el método se aplica a una realidad internacional permite captar la dimensión dinámica de las Relaciones Internacionales, de tal forma, que es posible diferenciar los sucesos o variables estructurales (largo plazo) de las cuestiones coyunturales (corto plazo).

Delimitación del tema de investigación

El trabajo de investigación no busca centrarse exclusivamente en el tema de las energías renovables sino estudiar la viabilidad de la producción del biodiésel como una vía para alcanzar un desarrollo sostenible (no únicamente ser una fuente energética). El motivo por el que se deslinda de otras fuentes de energías renovables y no las incluye en un todo estriba en que a diferencia de la energía solar o eólica, que son una fuente energética primaria y que se transforman en electricidad para consumo doméstico e industrial, el biodiésel es una fuente de energía secundaria, cuyo destino final son los motores de combustión interna utilizados principalmente en el transporte. Por ello, a pesar de su carácter renovable, el biodiésel representa un puente entre el sistema energético actual y las nuevas fuentes de energía que son necesarias para la construcción de una vía sostenible.

Estructura del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se divide en tres capítulos. En el primer capítulo titulado, *El biodiésel y el desarrollo sostenible* se aborda el marco teórico y conceptual que rigen la construcción teórica del desarrollo sostenible a partir de una óptica del espacio temporal y la participación de autores de distintas disciplinas. Del mismo modo, en el primer capítulo se entrelaza el debate de la construcción histórica del concepto de desarrollo sostenible y la evolución de las energías renovables basadas en la biomasa. En este sentido, cabe rescatar que tal discusión no es un tema reciente sino que posee importantes antecedentes históricos con aportaciones de autores de diversa índole. El segundo capítulo se titula *El Programa Nacional para la Producción de biodiésel en Brasil como una estrategia de energía renovable (PNPB)*. En este se analiza la estructura del sistema energético brasileño y sus consecuencias en establecimiento del primer proyecto de energía renovable a escala mundial como una herramienta para el desarrollo sostenible. A lo largo de este capítulo se aborda el contexto internacional energético, la experiencia brasileña durante cuatro décadas en el uso de la bioenergía para la generación de electricidad, etanol y la evolución del uso del biodiesel a partir de la implementación del PNPB.

Por último, en el tercer capítulo: *El biodiésel en México, una propuesta de desarrollo rural, energía sostenible y equilibrio ambiental*, se analiza la relación entre México y el petróleo. En este aspecto, cabe recordar que el petróleo ha sido un factor importante en la construcción del estado moderno mexicano, el petróleo le brindó soberanía política en el entorno internacional durante el siglo XX y proporcionó los recursos necesarios para la construcción de infraestructura material y durante años financió el gasto público. Por otra parte, los recursos económicos obtenidos de la extracción del petróleo han contribuido a construir un sistema energético ineficiente, ha empeorado la contaminación ambiental en las ciudades, ha contaminado mares y campos agrícolas y sobre todo es un factor que ha inhibido el uso de las energías renovables en México.

Finalmente, la transición energética internacional y obligan a México a la búsqueda de un suministro energético renovable, con un menor impacto ambiental y con una menor concentración económica de la riqueza el cual debe de propiciar un desarrollo sostenible en los años venideros, como una estrategia de transición energética durante el siglo XXI.

CAPÍTULO I.

EL BIODIÉSEL Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

1.1 El paso del desarrollo económico tradicional al desarrollo sostenible

La idea de desarrollo ha estado relacionada con la idea de progreso material y expansión económica. En su planteamiento teórico, los estudios modernos sobre el desarrollo surgen a mediados del siglo XX y desde sus orígenes la influencia de la economía ha sido predominante. Así, su conceptualización está continuamente inmersa en términos de esta disciplina como sinónimos de crecimiento, modernización, productividad, eficiencia, etc. De igual forma, como señala, Sampedro (1982), el concepto de desarrollo ha evolucionado a través del tiempo.

Figura 1. Evolución de las teorías del desarrollo



Fuente: José Luis Sampedro (1982). *El desarrollo, dimensión patológica de la cultura industrial*. Planeta. España.

En su evolución histórica, las teorías del desarrollo consistieron en la implementación de políticas macroeconómicas de alcance nacional con el objetivo de mejorar el desempeño económico. A este tipo se les conoce como desarrollo convencional, e inicia a principios del siglo XX. Ejemplo de estas políticas son el control de la inflación y de las tasas de interés, no obstante, este tipo de desarrollo produjo una deuda social por lo que se introdujo esta variable a través de reformas en el sistema (Convencional ampliado). Estas modificaciones crearon las prestaciones sociales (seguro médico, pensiones, seguro de desempleo) e iniciaron en la segunda mitad del siglo XX, como una respuesta al avance del comunismo en Europa Occidental. Sin embargo, en el ámbito internacional las teorías sobre desarrollo divergían en aplicación

Ante este panorama, un grupo de investigadores de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina, encabezados por Raúl Prebitch, desarrollaron la teoría de la dependencia a partir de 1946, la cual establece que la situación de subdesarrollo de América Latina obedece a su posición de proveedor de materias primas en el sistema mundial (CEPAL, 1991). En este sistema existe un centro desarrollado (Europa Occidental, Japón y Estados Unidos) y una periferia subdesarrollada (América Latina, África y Asia).

1.1.1 Del econocentrismo al ecodesarrollo

Posteriormente, la primera vinculación entre desarrollo económico y medio ambiente surge por primera vez en la Cumbre de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano de Estocolmo en 1972. En ésta reunión multilateral se acuñó el término de ecodesarrollo definido como aquel desarrollo que es ambientalmente adecuado y está basado en estrategias de integración del espacio ambiental (Herrero, 1980). Este planteamiento sucede en un contexto histórico de una preocupación incipiente por los problemas ambientales mundiales. Otra publicación importante, es presentada por Paul Ehrlich, profesor de la Universidad de Stranford, titulada *Population, resources & environment* y presentada en 1972. La tesis central del autor se centra en la dinámica demográfica mundial, por lo que plantea que es necesario limitar la población, especialmente en los países en vías de desarrollo. Él critica la revolución verde de la década de los sesenta porque sostiene que este aumento en la producción sólo pospone el suministro de alimentos y el aumento en la productividad se basa en insumos intensivos en combustibles fósiles.

Por último y de mayor consistencia para este capítulo es el Informe del Club de Roma titulado *Los límites al crecimiento* y publicado en 1972. El informe presentó un modelo global que concretizaba las tendencias de los problemas ambientales y realizaba o realizó proyecciones a futuro por medio de un modelo informático denominado World-3. Las variables utilizadas fueron: industrialización acelerada, rápido crecimiento demográfico, escasez general de alimentos, agotamiento de recursos no renovables y deterioro del medio ambiente. La primera limitante al crecimiento económico era el agotamiento de recursos energéticos no renovables. En este aspecto, la producción de alimentos disminuía al alterarse el régimen de lluvias debido al efecto de los gases de efecto invernadero, además de que el suelo cultivable se veía amenazado por la competencia de uso residencial e industrial. Finalmente, dentro de las recomendaciones del modelo informático World-3 fueron que se tenía que encontrar la forma de producir más energía

por medio de minerales radioactivos, más alimentos a través del incremento en la productividad de las cosechas, es decir, más toneladas por hectárea y sobre todo, disminuir la natalidad.

A la par la realización de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, conocida también como Cumbre de Estocolmo de 1972, existían obras que cuestionaban el impacto del desarrollo económico y su viabilidad en el tiempo. Por esta razón, durante la reunión multilateral es presentado el informe *Sólo hay una Tierra: el cuidado y mantenimiento de un pequeño planeta* (Cantú Martínez, Septiembre-Octubre de 2015). La obra diverge de las mencionadas anteriormente porque presenta un criterio amplio de la problemática ambiental, no solamente se centra en los límites físicos sino que incluye la variable social en la agenda internacional. Por lo tanto, Naciones Unidas basa sus postulados en una posición humanista, ya que considera que los recursos naturales son un medio para alcanzar el desarrollo. Por otro lado, la visión que posee del sistema internacional es la siguiente:

... los países en desarrollo deben dirigir sus esfuerzos hacia el desarrollo, teniendo presente sus prioridades y la necesidad de salvaguardar y mejorar el medio. Con el mismo fin, los países industrializados deben esforzarse por reducir la distancia que los separa de los países en desarrollo. En los países industrializados, los problemas ambientales están generalmente relacionados con la industrialización y el desarrollo tecnológico (Organización de las Naciones Unidas, 1972).

De esta forma, la ONU hace hincapié en las ciencias económicas de los países. Así, los países desarrollados tienen que resolver sus problemas ambientales mediante la adopción de nuevas tecnologías, mientras que, para los países en vías de desarrollo, la pobreza es el principal problema, por lo tanto es necesario el crecimiento económico para alcanzar estándares mínimos de vida.

Por estos motivos emergió una propuesta alternativa denominada ecodesarrollo. Esta propuesta parte de que no es posible una economía estacionaria como la planteada por el Club de Roma en 1968, puesto que no todos los países del mundo son desarrollados. Por ello, es necesario crear diferentes tipos de desarrollo y adecuarlos a las distintas partes del mundo, en función del ecosistema y no de modelos económicos. En concordancia a este punto, el ecodesarrollo criticaba la creciente industrialización que promovía patrones de consumo imperantes en los países desarrollados y emitidas por las clases ricas de los países en vías de desarrollo, ya que este proceso se realizaba por medio de la depredación de recursos naturales. Ante este panorama, el ecodesarrollo promovía el auto determinismo económico bajo el lema *Lo pequeño es hermoso* (Derivado del inglés *Small is beautiful* de la obra del economista británico E.F. Schumacher). En

lo que respecta a su estructura teórica, el ecodesarrollo se basa en los siguientes postulados (Schumacher, 1999).

- a) En cada eco-región el desarrollo se enfocará hacia el aprovechamiento de los recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas de la población en materia de alimentación, vivienda, salud y educación.
- b) El desarrollo econo-centrista ha derivado en impactos negativos en el medio ambiente.
- c) El ecodesarrollo conlleva a la modificación en las prácticas de producción y consumo. Uno de ellos, el de mayor importancia, es el sector energético, el cual necesita modificar la forma en la que se obtiene y se consume la energía.
- d) El ecodesarrollo implica la educación ambiental y la creación de recursos humanos para la gestión de recursos naturales.

A partir de estos cuatro puntos, el objetivo de este nuevo concepto fue lograr el desarrollo a partir de la utilización de los recursos locales, asimismo es necesario la reutilización y reciclaje de los materiales en el proceso de producción. En el tercer punto, el ecodesarrollo enfatiza la relación entre el desarrollo tecnológico y la estructura económica. En el tema que nos concierne, la energía, la mayor parte de la problemática se debe por un uso ineficiente de la misma, por ello, el mejoramiento de los procesos productivos puede llevar a la reducción en el consumo de energía. No obstante, a pesar del avance logrado a partir del *Informe Meadows* y la Cumbre de Estocolmo de 1972, la vinculación del sistema económico al precio de la energía llevó al estancamiento de la evolución conceptual del desarrollo sostenible.

De esta forma, el descubrimiento de nuevos yacimientos petroleros de bajo costo (Cantarell en México entre ellos) a partir de finales de los setenta cambió el rumbo del panorama energético al disminuir bruscamente el precio del barril de petróleo hasta los 14 dólares por barril en 1982. Así, las ideas sobre la implementación de políticas energéticas vinculadas al desarrollo sostenible tendrían que esperar para un contexto más favorable. La reincorporación de la variable ambiental a las teorías del desarrollo sucede a partir de Informe Brundtland de 1987. En esta publicación de Naciones Unidas se hace hincapié en la degradación física a la biosfera por las actividades humanas. Más tarde, en la Cumbre de Río en 1992, el concepto de desarrollo sostenible comienza a ser utilizado por diversos países en la formulación de sus políticas institucionales de desarrollo.

1.1.2 La acuñación del concepto de desarrollo sostenible

La conciencia por la búsqueda de un desarrollo sostenible a partir de la década de los noventa viene determinada por la problemática ambiental global (cambio climático, desertificación y deforestación). En términos estrictos, la primera definición de desarrollo sostenible en la obra *Nuestro Futuro Común* de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas. En este texto, conocido también como Informe Brundtland, se define al desarrollo sostenible como:

Aquel desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (WCED, 1987).

En esta definición encontramos como concepto central alcanzar la satisfacción de las necesidades humanas. Al respecto, Martínez y Jusmet (2001) sostienen que esta variable se relaciona con el consumo de bienes y servicios, por lo que en términos humanos se encuentran dos tipos de necesidades: endosomáticas y extrasomáticas. Las primeras se refieren al consumo energético que requiere el cuerpo humano para poder funcionar cotidianamente y está determinada por la constitución biológica de la especie humana, en términos cuantitativos, un humano necesita entre 2 500 y 3 000 kilocalorías diarias para poder vivir. Esta energía es obtenida a través del consumo de alimentos, así un consumo inferior a esta cifra se traduce en desnutrición (países subdesarrollados), mientras que un consumo superior conduce hacia la obesidad (países desarrollados).

Las necesidades extrasomáticas, se definen como aquellas necesidades externas a las requeridas para el cuerpo humano para vivir y cuya satisfacción es a través de recursos naturales provenientes del medio ambiente (*Ibidem*). En un principio y por un largo periodo de tiempo, la humanidad recurrió a la biomasa para satisfacer su consumo extrasomático de energía. No obstante, a finales del siglo XVIII, comenzó la Revolución Industrial en Inglaterra, y con ella inició la intensificación del consumo extrasomático y las fuentes de energía comenzaron a diversificarse. El primer combustible fósil utilizado para satisfacer estas necesidades extrasomáticas fue el carbón mineral, posteriormente se recurrió al petróleo y al gas natural, combustibles de mayor potencial energético y versatilidad de uso (Cunningham, agosto de 2003).

Es precisamente en esta variable en la cual comienzan las grandes diferencias a escala internacional. Así, tenemos que en países desarrollados, como en Estados Unidos, un habitante consume 103 800 kilocalorías diarias de energía extrasomática mientras un país subdesarrollo, caso de Haití, este consumo cae a las 3 590 kilocalorías diarias (OECD/FAO (2016). Esta

diferencia se debe en gran medida al sistema de transporte existente entre ambos países, así en Estados Unidos existen 765 vehículos por cada 1 000 habitantes y en Haití únicamente 12 por igual proporción de habitantes. De esta forma, mientras que existen límites biológicos para el consumo energético interno de los seres humanos, para el consumo extrasomático de energía el único límite es la capacidad adquisitiva del país, de ahí, que ésta diferencia entre el consumo energético represente el primer problema para alcanzar el desarrollo sostenible entre los países.

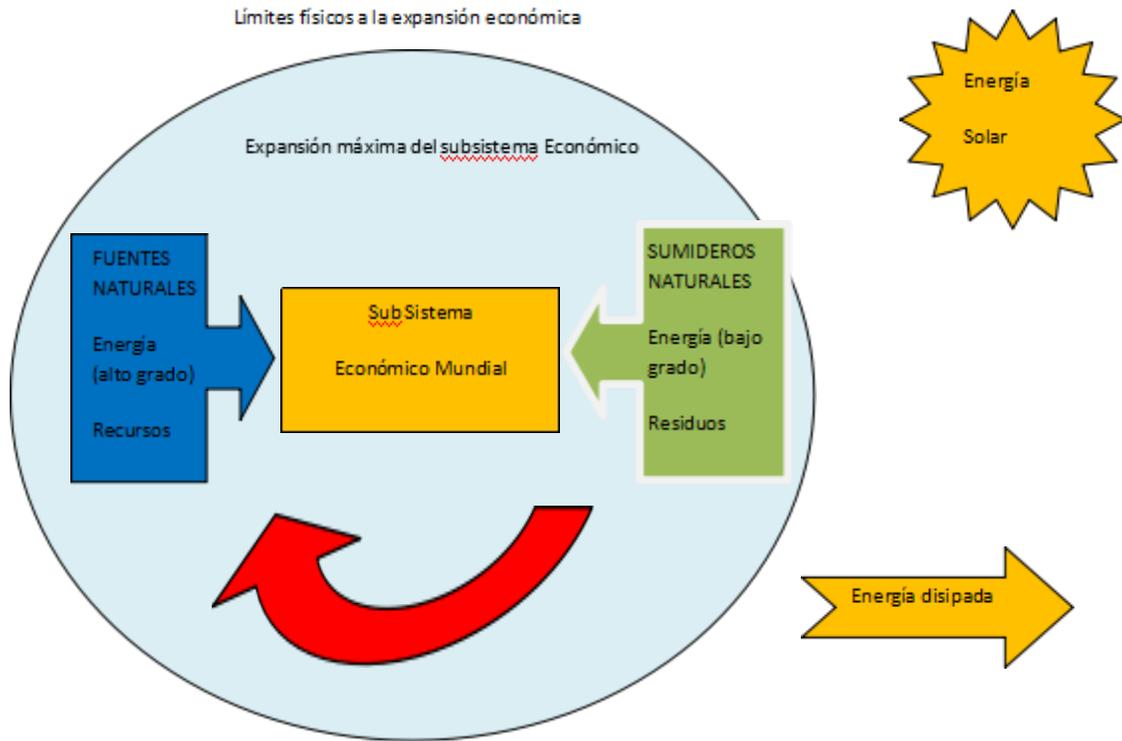
En su aspecto etimológico, el término sostenible deriva de la raíz latina *sustinere* y significa sostener, mantener y de una forma más amplia soportar, tolerar y llevar. La idea básica de la sostenibilidad se basa en un estado de equilibrio, en un proceso que pueda mantenerse indefinidamente. El economista español, José Manuel Naredo (año) señala que la concepción de la sostenibilidad puede encontrarse en los fisiócratas franceses del siglo XVIII, quienes postularon que el crecimiento productivo tenía que estar basado en los recursos renovables sin deteriorar los bienes fondo, es decir los inventarios originales. A partir de esta aportación, la sostenibilidad implica la administración y uso eficiente de los recursos naturales sin dañar las bases que propician su renovación.

1.2 La sostenibilidad abordada desde la economía ecológica

La visión económica sobre el desarrollo sostenible es proporcionada por la economía ecológica. Dicha disciplina es una corriente de pensamiento multidisciplinaria que surge como una contrapropuesta frente al planteamiento desarrollado por la economía ambiental basada en teorías neoclásicas. La crítica radica en que dicho planteamiento explica a la economía como un sistema cerrado al cual se le pretende anexar al medioambiente como una externalidad negativa (Martínez y Jusmet, *Op. Cit.*). Así, se pretende que los problemas ambientales se resuelvan mediante la anexión de costos monetarios a los entes contaminantes, principalmente bajo el principio del que contamina paga sin resolver de fondo el problema.

En contraste, los economistas ecológicos, como Joan Martínez Alier y Hermann Dally proponen que la economía es un sistema inmerso en uno más amplio: el Planeta Tierra (Figura 2). Este macro sistema es abierto a los flujos de energía proveniente del Sol, pero es cerrado en materiales. Así, la vida en la tierra es posible a partir de la transformación de la energía solar en alimentos a través de la fotosíntesis y del constante flujo de los ciclos geoquímicos del carbono, nitrógeno e hídrico, este espacio es conocido como medio ambiente.

Figura 2. Interacción entre el Planeta Tierra y el subsistema económico



Fuente: Herman Edward Daly (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press. EE.UU.

En lo que respecta a la economía, esta es un subsistema abierto a un constante flujo de energía (combustibles fósiles principalmente) y recursos naturales (minerales, alimentos, fibras), posteriormente las unidades económicas (empresas y particulares) transforman en bienes y servicios. Al final del proceso productivo, la economía genera dos tipos de residuos: la energía disipada y los residuos materiales. Estos últimos sólo pueden utilizarse parcialmente a través del reciclaje y de la degradación paulatina mediante la integración en los ciclos geoquímicos. Sin embargo, en esta última etapa, la interacción entre ambos subsistemas se vuelve conflictiva al producirse un déficit del reciclaje natural del planeta tierra.

1.2.1 La interacción entre la energía y la economía

Otra aportación de la economía ecológica es la inclusión de dos leyes de la termodinámica. La primera ley señala que la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. El planeta Tierra es un sistema que desde su formación ha recibido energía solar, una parte de ella es transformada

por la plantas en alimentos y biomasa que son utilizadas como fuente de energía para otros seres vivos. De igual forma, los combustibles fósiles son energía solar acumulada al provenir de la descomposición de materia orgánica durante millones de años. De ahí que resulte erróneo contabilizar la extracción de petróleo en la economía de un país como una actividad productiva puesto que se trata de una fuente agotable de energía que se extrae y su inventario se reduce.

Así, el sistema económico extrae energía de los combustibles fósiles y la transforma para mover automóviles y electrificar ciudades. Además, durante el proceso de producción se originan residuos y se observa una pérdida de energía que se manifiesta en calor disipado hacia la atmósfera, conocida esta última como segunda ley de la termodinámica o de la entropía. En esta etapa de degradación de la energía comienzan los problemas ambientales, puesto que la generación de dióxido de carbono y vapor de agua alteran el equilibrio térmico del planeta. Por otro lado, las plantas constituyen una fuente renovable de energía al utilizar los flujos biogeoquímicos del planeta Tierra y transformarlos mediante la fotosíntesis en alimentos y biocombustibles. Otra función importante de estos seres vivos es la absorción del dióxido de carbono (CO₂). De este modo, el medio ambiente tiene un papel importante dado que es proveedor de materiales, energía y receptor de residuos.

En lo que respecta a la estructura económica mundial, las diferencias de desarrollo económico entre los países determinan su consumo extrasomático de energía. Los países desarrollados dependen de la importación de combustibles fósiles a un precio menor del que debe de costar, puesto que el precio de mercado del barril de petróleo no refleja el verdadero costo del energético al no incluir el impacto ambiental derivado de su uso y extracción. Así, la principal diferencia entre países es el consumo extrasomático de energía. De esta forma, la economía del desarrollo sostenible debe ser aquella en la que el consumo de materia y energía debe estar equilibrado con la capacidad del medio ambiente para proporcionar recursos naturales y energía.

1.2.2 La energía sostenible

La búsqueda de fuentes energéticas sostenibles constituye el mayor desafío para el desarrollo sostenible de la humanidad, puesto que el sistema energético basado en combustibles fósiles provoca el desequilibrio sistémico en el planeta. Así, en términos económicos, un sistema sostenible es aquel que posee ingresos sostenibles, los cuales son obtenidos a través del consumo de recursos sin que exista una degradación del capital natural. Por este último se entiende como aquel inventario de recursos naturales que permite alimentar un flujo de bienes y servicios valuados en términos monetarios (Martínez y Jusmet, 2001). De este modo, es posible obtener

un flujo sostenible al utilizar el excedente sin dañar la base material del capital natural. Al respecto, Daly (1996) ha desarrollado tres criterios para alcanzar la sostenibilidad energética:

1. *La tasa de utilización de recursos no renovables no debe exceder la tasa a la cual los sustitutos renovables se desarrollan.*
2. *Para recursos renovables, la tasa de explotación no debe exceder la tasa de regeneración de los mismos (ingreso sostenible).*
3. *La tasa de emisión de agentes contaminantes no debe exceder la capacidad de asimilación por el medio ambiente.*

En el primer aspecto, la economista saudí, El Serafy (Junio-Julio 2002) sostiene que el medio ambiente debe ser entendido como capital natural y por consiguiente tiene que ser amortizado. De este modo, una parte de los ingresos derivados del petróleo tiene que destinarse a la investigación para sentar la base de la transición basada en energías renovables. En caso contrario, El Serafy considera que al no aplicarse criterios racionales, la obtención de ingresos petroleros genera una sobredimensión de auge económico y lleva al despilfarro a corto plazo. La segunda clasificación tiene que considerar a los recursos renovables pero potencialmente agotables. A pesar de que un bosque o un suelo agrícola pueden ser explotados sin alterar sus bases estructurales y con ello perpetuar su sostenibilidad, la búsqueda de ganancias monetarias inmediatas puede dañar dicha estructura al aumentar la presión sobre los recursos renovables a un ritmo mayor que su capacidad de renovación. En este aspecto, Philip Fearnside (1997) sostiene que la agricultura industrial es una amenaza, puesto que antepone el desarrollo económico al desarrollo sostenible, por ello, conlleva a la pérdida de las bases materiales que crean la riqueza.

En el último punto, la visión de la economía ecológica lleva a considerar la interrelación entre las distintas partes. A diferencia de la posición económica tradicional que ve a los espacios naturales como fuente de recursos monetarios, para la óptica económico-ecológica los bosques y océanos constituyen la principal fuente de reciclaje de emisiones y residuos del sistema económico. En este sentido, la humanidad tiene una deuda planetaria ya que la tasa de emisiones contaminantes actuales ha superado la capacidad de asimilación de los sumideros naturales (UNEP, 2009). Por ello, el uso de fuentes renovables de energía tiene que ser una constante. En este caso, la bioenergía resulta una de las más adecuadas para restaurar el equilibrio ecológico, ya que durante su crecimiento las plantas retiran de la atmósfera dióxido de carbono y generan energía para el sistema económico.

Por último, la economía ecológica considera tres principios (Daly, *Op.Cit*): Escala óptima, justicia distributiva y eficiencia económica. En este orden, el primero versa sobre la necesidad de implementar sistemas energéticos acorde a las necesidades y a la disponibilidad de recursos con el país. El segundo es sobre la distribución de los medios de producción y el acceso de los recursos naturales por los integrantes de la sociedad; y por último, la eficiencia económica busca la optimización de los recursos naturales de un espacio físico en función de la disponibilidad. No obstante, a pesar de que las ideas de Daly (*Op.Cit*) y El Serafy (*Op.Cit*) han sido expuestas desde más de veinte años, los gobiernos estatales (particularmente los latinoamericanos) se empeñan en explotar sus recursos renovables a tasas superiores a la capacidad de renovación y agotar sus reservas de petróleo para pagar una deuda económica contraída para lograr el desarrollo material. De esta forma, la humanidad se aleja de satisfacer sus necesidades presentes y endeudan a las generaciones futuras a través de la degradación ambiental y el abultamiento de la deuda externa.

1.3 La dimensión social del desarrollo sostenible

Una de las paradojas de la sociedad humana es la desigualdad. A pesar del avance continuo de la ciencia y la tecnología existen diferencias significativas entre los países. Por ello en 1990, durante la presentación del Informe Anual del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es acuñado el siguiente término:

Así, el desarrollo humano puede definirse como aquel ambientalmente sano, económicamente viables y socialmente justo con las generaciones presentes y responsabilidad diacrónica con las generaciones futuras. (PNUD, 2013)

En ampliación a esta definición, podemos postular que un desarrollo socialmente justo debe implicar abatir el problema social más grave del mundo: la pobreza. En la actualidad uno de cada cuatro habitantes es considerado pobre, en aspectos regionales, Latinoamérica es una de las regiones con mayor desigualdad (CEPAL, Octubre de 2016). En esta línea de pensamiento, la desigualdad social propicia el consumo desigual de los recursos naturales *per cápita*, por lo tanto, la expansión de las actividades humanas sólo puede lograrse a través de la utilización de más materia y energía en el sistema económico o bien a través de la satisfacción de las necesidades humanas con la misma cantidad de materia y energía. Así, en el primer punto se refiere al crecimiento económico y el segundo de desarrollo económico.

En otro aspecto, es necesario un desarrollo creativo que lleve a la sociedad hacia nuevas esferas de convivencia con el Planeta, puesto que de él obtiene los recursos materiales y la

energía que hacen necesario la realización de las actividades cotidianas, dado que el crecimiento económico tiene límites al existir una dotación finita de recursos naturales en el medio ambiente.

1.3.1 Una nueva forma de medir el desarrollo.

En 1992, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo reconoce, con clara influencia del Informe Brundtland de 1987, la necesidad de incorporar la variante ambiental al concepto de desarrollo humano. Se fija como objetivo alcanzar un desarrollo humano sostenible con prioridad en el bienestar social, pero al mismo tiempo es necesaria la protección del medio ambiente como estrategia vital para alcanzar la viabilidad a largo plazo de los ecosistemas naturales donde se encuentra inmersa la sociedad humana. Así, encontramos una definición más amplia de desarrollo sostenible propuesta por las Naciones Unidas:

Es un proceso holístico, integrado e integrador de los elementos que conforman la totalidad ambiental. Un proceso en el cual los elementos sólo pueden ser evaluados con respecto al todo. Los humanos son actores y benefactores del proceso (PNUD, 2013).

Ante la necesidad de encontrar nuevos parámetros para cuantificar el desarrollo de los países, las Naciones Unidas a través del PNUD da a conocer un nuevo indicador sobre el nivel de desarrollo de los países denominado Índice de Desarrollo Humano (IDH). Este nuevo parámetro reformula el indicador economicista de renta per cápita y le adhiere variables sociales como la esperanza de vida y el nivel de educación. Asimismo, el IDH abandona la idea del desarrollo material de la sociedad para concentrarse en otras áreas como la salud y el nivel educativo (Veiga, 2005). Además, la posición revisionista de las teorías económicas del desarrollo surgen ante una realidad social que año con año empeora tanto en sus condiciones de vida materiales como de desarrollo humano.

En la Figura 3, se ilustra la manera en que se distribuyen los ingresos monetarios globales. El 20% de la población concentra más del 80 por ciento de la riqueza y consume los recursos naturales (petróleo, minerales, tierras agrícolas, etc.). Al mismo tiempo, es el principal generador de contaminantes que inducen al cambio climático. Por otra parte, el último grupo de la población recibe únicamente el 1.5% de los ingresos, por lo que su capacidad de consumo e impacto ambiental es diferente. Esta desigualdad conduce hacia dos posturas en la problemática ambiental. La primera es la del estrato favorecido en la distribución mundial del ingreso, para la cual las preocupaciones principales son el cambio climático y la escasez de combustibles fósiles, mientras que para los habitantes pobres del planeta, sus preocupaciones son por cuestiones más

locales, como la deforestación, la contaminación de los cuerpos de agua dulce y la erosión de suelos agrícolas.

Figura 3. Estructura de la renta económica a nivel mundial



Fuente: Atkinson *et al.*(2007). *Handbook of Sustainable Development*. Reino Unido.
BOURNE, Joel K. (Octubre de 2007). *Green Dreams*. National Geographic. Vol. 21 Núm.
04. EE. UU.

1.3.2 Movilidad, medio ambiente y desarrollo

Desde el comienzo de la civilización humana, la movilidad de personas y mercancías son la base fundamental para alcanzar el desarrollo y progreso social. Así, los sistemas de transporte permiten un acceso de innovaciones tecnológicas, educativas, culturales y productivas entre dos entornos distintos: rural y urbano. Por ello, dentro de los beneficios que encontramos en el sistema de transporte son:

- **Comercio:** El traslado de mercancías y los costos de transporte tienen un papel central en el desarrollo del comercio internacional. A nivel internacional, el crecimiento del flujo de mercancías se está incrementando en los países emergentes.
- **Urbanización:** Las ciudades son los principales impulsores del desarrollo económico. Por otro lado, la movilidad urbana es crucial para incrementar o empeorar la calidad de vida. Por esta razón, los sistemas de transporte de bienes y personas necesitan ser eficientes.
- **Desarrollo rural:** La vinculación entre la agricultura y el desarrollo de los sistemas de transporte es inminente. El acceso a productos de alta calidad para los habitantes de las

ciudades y de ingresos monetarios para los agricultores es expedito al existir una infraestructura adecuada de vías de comunicación. Además, de que la creación de carreteras trae consigo el acceso a otros servicios, como la electricidad y el agua potable.

- **La reducción de la pobreza:** La creación de empleos es uno de los resultados de una mayor movilidad. el flujo de personas también conlleva al flujo de información y nuevas tecnología.

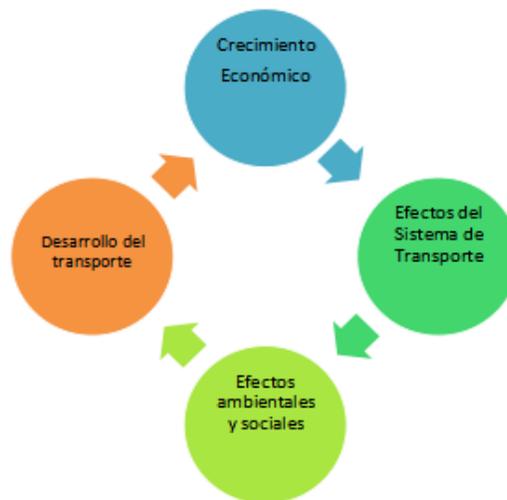
En este sentido, el Banco Mundial estima que 900 millones de habitantes rurales no tienen acceso a medios de transporte, por lo que el traslado de personas y mercancías debe de realizarse a pie o por medio de animales (Associação Nacional de Transportes Públicos, 2005). Por ello, el sistema de transporte constituye uno de los ejes fundamentales para alcanzar el desarrollo social. A la par, la vinculación de estos cuatro factores es de suma importancia para el desarrollo de sistema de transporte, sin embargo, existen grandes desafíos al respecto. Uno de ellos es el desigual desarrollo regional al interior de los países en vías de desarrollo, bajo el cual se benefician a las zonas con mayor vinculación, hacia el comercio exterior (portuarias y fronterizas) y desvinculan a las zonas marginadas. En el aspecto de desarrollo rural, la desarticulación de importantes zonas de la economía nacional trae como consecuencia la pérdida de ingresos para los habitantes rurales.

Es importante mencionar que los sistemas de transporte han sido superados por un crecimiento urbano desacelerado. En este aspecto, la Organización Mundial de Salud estima que cada año mueren 800 mil personas como consecuencia de la contaminación del aire (UN-Habitat, 2007). En este escenario, es importante mencionar que los sistemas insostenibles de transporte no solamente tienen consecuencias locales sino que contribuye al principal problema ambiental del Planeta: el cambio climático. A modo de precisar es conveniente señalar que, el sistema de transporte mundial consume la mitad del petróleo extraído anualmente y deposita el 20% de las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera (Pahl, 2008). Resulta entonces que el sistema mundial de transporte está basado en una fuente de energía no renovable y altamente contaminante. Sobre esta problemática, el Consejo Mundial sobre Desarrollo Sostenible señala que es necesario modificar tal estructura y define al transporte sostenible de la siguiente manera:

...es aquel que tiene la capacidad para conciliar las necesidades de movilidad de personas y mercancías de manera libre y accesible sin sacrificar otras necesidades sociales o ambientales, tanto del presente como del futuro. (Associação Nacional de Transportes Públicos, 2005).

Esta definición, hace hincapié en la necesidad de modificar las tendencias actuales en los sistemas de transporte, puesto que, actualmente el desarrollo de la infraestructura se enfoca principalmente hacia el transporte privado. Además, si bien es cierto que el mejoramiento cuantitativo y cualitativo del sistema de transporte potencia el crecimiento económico a través del mayor desplazamiento de bienes y personas. También es cierto que, el crecimiento desmedido de los sistemas de transporte conlleva hacia el congestionamiento vial y con ello hacia el aumento en el consumo de energía fósil.

Figura 4. Los efectos del sistema de transporte



Fuente: Associação Nacional de Transportes Públicos (2005). *Mobilidade nas cidades brasileiras, Sistema de Informação da Mobilidade Urbana*. São Paulo.

Por los argumentos expuestos anteriormente es necesario modificar las políticas de transporte en tres vías.

- I. **Incrementar la reducción en el consumo de energía por unidad de transporte:** En este aspecto es necesario aumentar el rendimiento de combustible mediante la adopción de nuevas tecnologías, tales como vehículos híbridos.
- II. **La introducción de fuentes de energía renovables:** Además del criterio de ser renovables es necesario que tengan la capacidad de reducir las emisiones contaminantes ya creadas por el sistema anterior y que puedan adecuarse al sistema actual de transporte para iniciar una transición.

- III. **Implementar una política de transporte urbano integral:** La reducción del transporte privado por el público, en este caso una política fiscal de línea ambiental sería el cobro de impuestos por emisiones emitidas por kilómetro recorrido incentivaría al abandono del transporte privado.

Así, en los casos expuestos, el biodiésel resulta un combustible de importancia estratégica, puesto que, es compatible con los motores actuales y además su cadena productiva genera ingresos para el desarrollo de zonas rurales. En resumen, es necesario que el sistema de transporte propicie el desarrollo económico y social, al mismo tiempo que coadyuva a la reducción y mitigación de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

1.4 La dimensión ambiental del desarrollo sostenible

Actualmente, el Planeta Tierra ha entrado en una crisis sistémica con efectos perdurables a largo plazo. La alteración del sistema terrestre por las actividades humanas ha traído desafíos para la existencia de la vida en sus diferentes dimensiones. En este sentido, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente identifica cuatro crisis ambientales (PNUMA 2007).

- I. **El Cambio Climático:** Se genera por la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, gas metano y vapor de agua) hacia la atmosfera como resultado de las actividades humanas. El efecto de estas sustancias es la alteración del sistema climático del planeta y sus consecuencias más visibles son un aumento de la temperatura media del planeta y con ello una alteración al ciclo hidrológico que propicia alteraciones en los fenómenos meteorológicos.
- II. **El agotamiento de la capa de ozono:** La segunda crisis ambiental global se debe al incremento de sustancias que contienen clorofluorocarbonados. El efecto de la emisión de estas sustancias es la degradación paulatina de la capa de ozono y las consecuencias son la amenaza a la viabilidad de la vida en el Planeta al deteriorar la barrera que protege al Planeta de los rayos ultravioleta provenientes del sol.
- III. **La contaminación generalizada del medio ambiente.** Incluye a aquellas acciones humanas que dañan la base estructural de los ecosistemas, tanto aspectos bióticos como abióticos. En ella se incluye la contaminación del aire en las ciudades a partir de las emisiones de plantas industriales y automóviles. De igual forma, los vertederos de

aguas contaminadas hacia ríos, lagos y mares genera alteraciones en el ciclo hidrológico y merma la disponibilidad de agua dulce para la humanidad. El otro tipo de contaminación es la ocasionada al suelo, este tipo de contaminación es derivada de la aplicación de insumos químicos en la agricultura moderna.

Además, la destrucción sistemática de los recursos renovables origina una crisis ambiental global. La pérdida de la biodiversidad constituye una amenaza a la existencia de la civilización al tratarse de una fuente de recursos genéticos que tomó millones de años en desarrollarse a la que se le puede dar diversos usos: alimenticios, bioenergético y médicos. En este orden de ideas, la deforestación y la desertificación son dos procesos globales que afectan en forma divergente el equilibrio ecológico. Por una parte, los bosques forman parte de los sumideros naturales de dióxido de carbono, son fuente de almacenamiento de agua dulce y oxígeno, por lo que al deforestarlo se agrava la problemática ambiental. Por ello, la desertificación es un proceso que degrada los ecosistemas y con ello las bases de subsistencia, tanto para los humanos como para las diversas fuente de vida.

La interconexión entre los problemas ambientales y el desarrollo requieren de puntos de vista global pero con aplicaciones locales. Así, la degradación ambiental derivada de la pobreza existente en los países del Hemisferio Sur agrava los problemas ambientales que conciernen a los países del Hemisferio Norte (cambio climático), porque destruye los sumideros naturales de emisiones contaminantes (bosques tropicales) que los países del Norte generan. Por ello, el planteamiento de la economía ecológica es utilizar los recursos locales.

1.4.1 Los ecosistemas y el entorno humano

Un ecosistema es un espacio físico de la biosfera, dónde las plantas, animales y microorganismos conviven en comunidades biológicas e interactúan entre ellos con elementos físicos y químicos presentes en el ambiente (Ullanowicz, 1997). La sostenibilidad del ambiente se debe a la interacción de intercambios de materia y energía entre los seres vivos y los elementos físicos, de tal manera que el crecimiento y desarrollo de un sistema es motivado por su medio. La energía solar es la fuerza motora del ecosistema al proporcionar la energía necesaria para el mantenimiento y organización del ecosistema. Las plantas transforman la energía solar en energía química (ATP) para proporcionar el sustento a otras formas de vida. Justamente, los seres

humanos utilizan este proceso biológico para satisfacer sus necesidades de alimento y de energía. La importancia de un ecosistema sano permite la libre interacción entre los flujos de materia y energía, con ello cada una de las partes integrantes del ecosistema pueden funcionar correctamente. Otra ventaja de preservar la biodiversidad es que incrementa la productividad del ecosistema al utilizar mejor los recursos dentro del mismo espacio físico, puesto que cada especie utiliza una parte de nutriente que otra no utilizaría.

En el aspecto de interacción con el sistema económico, los ecosistemas tienen un papel central al ser la base material del funcionamiento de la economía, en términos simples, el sistema económico es la transformación de materias primas mediante el uso de la energía en bienes y servicios para el consumo humano; además, los ecosistemas proveen al sistema económico de los servicios ambientales. Por este concepto entendemos como aquellas funciones del ecosistema que permiten la realización de las actividades humanas. Ejemplos de servicios ambientales son los ciclos del carbón y del agua, la descomposición de los desechos orgánicos, la generación de suelos fértiles, la polinización, la provisión de alimento (caza, pesca y recolección de frutos) y la diversidad genética. Al perderse un ecosistema, la humanidad pierde todos estos servicios. La capacidad del ecosistema para producir energía renovable es otra de sus funciones, en relación con el aspecto económico, el ecosistema se convierte en un factor de producción en el desarrollo de la bioenergía al proveer del espacio para producirla y del acervo genético para incrementar su producción.

1.4.2 La administración sostenible de los recursos renovables a través de la Eco-agricultura

La administración sostenible de recursos naturales tiene sus orígenes en la ecología y la economía agraria. La idea central es lograr una gestión que sea suficientemente grande para cubrir las necesidades humanas y suficientemente pequeñas para que pueda reproducirse indefinidamente. A partir de este planteamiento se busca desarrollar estrategias para lograr el nivel óptimo de explotación. La identificación de tal nivel es posible es a través de la fase operativa, la cual debe tener un tasa de explotación menor que la tasa de renovación del recurso renovable. En el caso de los sistemas agrarios, Gordon Conway (1983), propone que la sostenibilidad es la habilidad para mantener su productividad en condiciones de estrés y perturbación. Así, un ecosistema agrario sostenible es aquel que cumple las siguientes características:

- 1) Tener un sistema dinámico capaz de adaptarse a las necesidades cambiantes de la población.

- 2) La satisfacción de necesidades tiene que realizarse a través del mantenimiento y si es posible el mejoramiento de la calidad del medio ambiente.
- 3) La sostenibilidad está condicionada por la interacción de los ciclos bioquímicos.

En resumen es posible decir que un modelo de desarrollo agrario sostenible es aquel que satisface las necesidades actuales de la población y se basa en un modo de producción dependiente de recursos naturales y humanos. Por lo tanto, partir de esta afirmación se puede realizar la siguiente pregunta ¿es un sistema agrario tradicional energéticamente más eficiente? Para responder esta pregunta es necesario analizar los estudios realizados por el Dr. Podolinsky, quien propuso como tesis que la economía consiste en un sistema de conversión de energía (Martínez, 1995). En su estudio, Podolinsky comparó diversos ecosistemas, tanto naturales (bosques y praderas) y artificiales (campos agrícolas). Podolinsky sostiene que las distintas civilizaciones eran sostenibles por una conversión eficiente de la energía solar, a través de las técnicas agrícolas, al caer una de las partes integrantes del sistema agrícola, la existencia de la sociedad se veía amenazada. En la actualidad, desde una visión económica neoliberal esta situación puede ser discutida al argumentarse que la pérdida de soberanía alimentaria de un país puede remediarse mediante la importación de alimentos de otra región, esta solución no hace más que prolongar la agonía de dicha economía.

Una vez establecida la vinculación entre el flujo de energía solar y la sostenibilidad de la civilización, la pregunta es la siguiente: ¿es sostenible la agricultura en la actualidad? Sobre este tema Pimentel (1993) sostiene que la agricultura moderna consiste en cultivar con petróleo, por lo que su elevada productividad y sostenibilidad son cuestionables. Para demostrar su tesis, Pimentel realizó un estudio comparativo entre el cultivo de maíz realizado en Estados Unidos y en México con el objetivo de comparar su eficiencia energética. En el primer caso, la agricultura está basada en derivados del petróleo, desde el combustible con el que funcionaban los tractores hasta los fertilizantes y pesticidas, por lo que la productividad de este sistema agrícola depende de una fuente energética externa y no renovable. Mientras que en el segundo caso, el cultivo del maíz se basa principalmente en el trabajo humano, ocasionalmente apoyado en la tracción animal, y utilizaba la luz solar como fuente de energía. Además, el modelo mexicano consistió en sembrar muchos cultivos, los cuales trabajaban en simbiosis con las plantas de maíz. De esta forma, el agrosistema mexicano, conocido como milpa, es energéticamente más eficiente que su contraparte estadounidense al estar basado en un flujo constante de energía renovable proveniente

del sol y no depender de los vaivenes del petróleo. Además, de que el impacto ambiental es reducido al utilizar menores insumos de agroquímicos y mejorar la calidad del suelo mediante la utilización de técnicas de policultivo.

Otra aproximación al concepto de agricultura sostenible es la proporcionada por Gleissman (2000), quien señala que la agroecología es la aplicación de la ecología en el diseño y manejo de los agro-ecosistemas. Además, es un sistema completo que involucra la producción múltiple de productos agrícolas auspiciados en el conocimiento tradicional, la agricultura alternativa y las experiencias locales. De esta forma, la meta principal de la agroecología es el desarrollo sostenible de los agro-ecosistemas. Así, por un sistema agro-sostenible entendemos como aquel que mantiene su base natural de recursos renovables. Este proceso es posible a través del consumo mínimo o nulo de insumos artificiales, tales como pesticidas y fertilizantes. Por ello, los agro-ecosistemas recurren a la fertilización orgánica (compostas, lombricultura) y biológica y al control biológico de las plagas.

En el aspecto de desarrollo social, Denardi (1995) señala que existen dos estrategias para lograr la sostenibilidad del entorno rural, la primera es la modernización conservadora, la cual consiste en la creación de grandes agroindustrias. Dentro del aspecto positivo de esta estrategia se encuentra la transferencia e innovación tecnológica y rentabilidad económica. No obstante, este tipo de unidad económica favorece la concentración del capital y de los medios de producción. A nivel mundial este tipo de producción rural predomina en Norteamérica, Australia, la Unión Europea y el Centro de Argentina. El otro extremo de esta problemática es la promoción del desarrollo humano del entorno rural mediante la democratización del Estado y de los medios de producción. En este aspecto, Denardi sostiene que esto es posible mediante un modelo agrícola basado en la producción familiar. En este caso, la reforma agraria se vuelve un elemento indispensable y plantea un reto a la postura agrícola neoliberal, que sostiene que la concentración de la propiedad rural es la base angular del incremento en la productividad. En este orden de ideas, Romeiro (1998) señala que existen tres ventajas de la agricultura familiar sobre la empresarial. La primera es que la agricultura es un trabajo secuencial, por lo tanto la especialización no es necesaria puesto que un trabajador desempeña múltiples funciones. En segundo lugar, a diferencia de la industria, la mayor parte del progreso técnico es asimilable, además, la producción familiar tiene como ventaja el hecho de no pagar salarios monetarios y estar sujeta a jornadas laborales. Por último, las necesidades biológicas de plantas y animales conforman una fuerte barrera para la división del trabajo y la industrialización de la producción

agrícola. En cuanto a la estructura de la producción familiar, Grazziano da Silva (1993) la divide en dos. La primera es el productor de subsistencia, cuya actividad se centra en la producción para el autoconsumo, por lo que tiene que complementar sus ingresos con otras actividades. En este tipo de agricultores, la movilidad de capital es mínima y la producción de productos es la misma, tanto en cantidad como en calidad. Además, carece de acceso a beneficios públicos (subsidios) la cantidad de tierra es limitada y sin capacidad para aumentarla por medio de la capitalización y a menudo tiende a abandonar su parcela mediante el paso de las generaciones. El otro tipo es el productor familiar eficiente, cuya característica principal es la respuesta que tiene al incremento en los costos de producción mediante la generación de excedentes a través del incremento en la productividad, tanto por unidad del área agrícola como por la laboral. Este tipo de agricultor tiene acceso a subsidios y financiamiento. Otra diferenciación es que, el agricultor familiar eficiente práctica la poliproducción, es decir no únicamente se dedica a la producción de alimentos, además, con el auge de la bioenergía, el ecoturismo y la protección ambiental complementa sus ingresos.

CAPÍTULO II.

EL PROGRAMA NACIONAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL EN BRASIL COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La vinculación entre la bioenergía y el desarrollo sostenible es un tema complejo como pudo observarse en los planteamientos teóricos expuestos anteriormente. Por un lado, el uso de biocombustibles trae beneficios, como el desarrollo económico de las zonas rurales, incremento de la seguridad energética nacional y una reducción de las emisiones contaminantes. Pero, también su producción puede llevar a efectos negativos, tales como la expansión de la frontera agrícola, el predominio de monocultivos y acrecentar la desigualdad social. Por estos argumentos, encontrar el equilibrio entre estas dos variables es de suma importancia al considerar a los biocombustibles como una estrategia de desarrollo sostenible y cubrir aspectos en términos de eficiencia en la distribución de los recursos entre la sociedad.

En este sentido, una de las primeras vinculaciones del desarrollo rural y la generación de energía renovable fue propuesta por Rudolph Diesel, inventor del motor que lleva su apellido, sostuvo en 1911:

El motor diésel puede ser alimentado con aceites vegetales y podría ayudar considerablemente al desarrollo de la agricultura en los países que lo usan (Pahl, 2008).

En la afirmación anterior se manifiesta que una de las características técnicas de los motores diesel es la posibilidad de utilizar combustibles de origen orgánico. Así, dichos artefactos tecnológicos utilizan una energía que puede ser cultivada, por ello desde su invención ha existido la posibilidad de que cada país puede producir su propio combustible y con ello alcanzar la prosperidad de su sector rural e independencia energética.

2.1 El contexto energético internacional como catalizador del uso del biodiésel

El agotamiento gradual de los inventarios naturales del petróleo ha empezado a repercutir de manera constante en el precio de petróleo, manteniéndose entre los 50 y 100 dólares durante el periodo 2003-2013 (Sachs, 2007). Ante este contemporáneo escenario energético, a nivel mundial se ha propiciado un incremento en las investigaciones y proyectos de energías alternativas en los dos grandes rubros de utilización de la energía (*Global Status Report*, 2013):

- **Electricidad:** Sustitución de combustóleo y diésel por energía eólica, solar y biomasa para la generación de electricidad.
- **Combustibles líquidos:** Desarrollo de combustibles sustitutos de la gasolina y diésel, a partir de la biomasa, denominados biocombustibles por su origen orgánico. Los biocombustibles de mayor utilización son el etanol, y el biodiésel, representan el 78.7% y el 21.3% la producción mundial respectivamente.

De esta forma, los dos grandes usos de la energía recaen en la generación de electricidad y combustibles para el sistema de transporte, por lo que en ambos casos las alternativas propuestas son diferentes para cada caso. En lo que respecta a los combustibles líquidos, Sachs (*Ibidem*) cita las siguientes variables que inciden en el desarrollo de los biocombustibles:

- **Volatilidad en el precio internacional:** Uso del petróleo como un arma geopolítica.
- **Limitaciones físicas:** Caída de la Tasa de Retorno Energético.
- **Cambio climático:** Incremento en la Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Al respecto de la última variable, Stern (2006) agrega que la mayor falla del mercado es que nunca incluyó el costo ambiental de las emisiones de GEI que ocasiona el uso indiscriminado de los combustibles fósiles. Por ello se puede afirmar que el agotamiento gradual de los combustibles fósiles y los efectos negativos en el medio ambiente son el catalizador para el desarrollo de las energías renovables en todo el mundo, de las cuales destacan los biocombustibles por su compatibilidad con los combustibles fósiles para poder utilizarse de forma total o parcial en los actuales motores de combustión interna.

En este tema hay que señalar que la combinación gasolina-etanol se utiliza mayoritariamente para el transporte privado de personas, mientras que el eje diésel-biodiésel es más versátil, ya que este tipo de motorización se utilizan en maquinaria agrícola, industrial, generación de electricidad, transporte de carga por vía marítima o terrestre, y en la trasportación de personas, tanto a nivel privado como en el transporte público (Cuadro 1).

Cuadro 1: Múltiples aplicaciones del motor diésel en el mundo



Aplicaciones

- Transporte carretero
- Transporte urbano
- Maquinaria agrícola
- Maquinaria industrial
- Generación de electricidad
- Transporte marítimo

Fuente: Greg Pahl (2008). *Biodiesel: Growing a New Energy Economy*. Chelsea Green Publishing Company. EE.UU.

Por ello, para cada país, el diésel es un pilar indispensable para el desarrollo de las actividades cotidianas de sus habitantes. En este sentido, cabe rescatar que el diésel es técnicamente compatible en los motores diésel actuales, no obstante para que su producción sea económicamente viable es necesario un precio internacional del barril de petróleo por encima de los 42 dólares (Plan Nacional de Agroenergía, 2006). Por ende, el escenario energético actual ha propiciado que existan tres polos a escala global para la investigación, producción y uso del biodiésel tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Polos de desarrollo de biodiésel a nivel mundial

REGION	OBJETIVO	OBSERVACIONES
La Unión Europea	Mitigación de GEI	Es el mayor mercado de biodiésel, con una producción anual de 9 mil 100 millones de litros anuales (Mla). Alemania posee el liderazgo regional con el 29.67% de la producción europea.
América del Sur	Desarrollo regional	Destaca como el segundo polo global del biodiésel. En el subcontinente americano, Argentina y Brasil poseen producción símiles, con una producción anual de 2 mil 800 Mla y 4 mil Mla respectivamente, ubicándose como el tercer y segundo productor mundial de biodiésel.
América del Norte	Seguridad Energética	Estados Unidos despunta como el mayor productor anual de biodiésel, con una producción anual de 4 mil 600 Mla, cifra que representa el 39.5% de la producción global

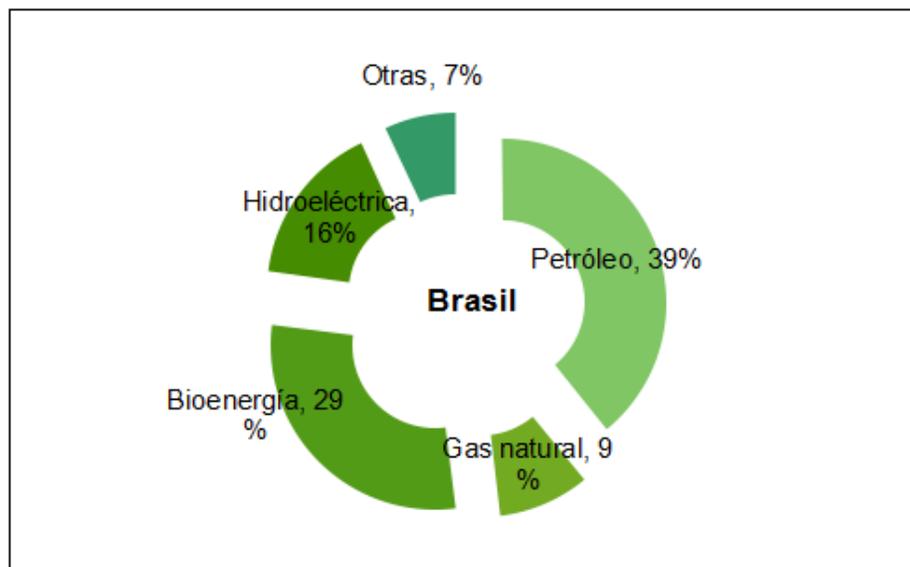
Fuente: REN21 (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. REN21 Secretariat. Francia

De esta manera, como puede observarse el sistema energético internacional depende mayoritariamente de combustibles fósiles, los cuales tienen limitaciones físicas y cuyo uso repercute en el equilibrio climático global y en la desigualdad social al concentrarse las reservas en pocas regiones del mundo. Ante este escenario, los biocombustibles han surgido como una alternativa para la transición hacia formas de energía más sostenibles al ser compatibles en uso directo o mezclados en los actuales motores de combustión interna. En este sentido, tal como ilustra la Tabla 1, el biodiésel es una de las más provisorias por su capacidad de generación de empleos en el sector rural, disminución en la erogación de divisas por importaciones energéticas y por la posibilidad de mitigar emisiones de GEI mediante su producción y uso.

2.1.1 El modelo energético brasileño

Desde el punto de vista energético, Brasil difiere del resto del mundo en cómo genera y utiliza la energía que necesita. Por ejemplo, mientras que la participación de los combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral y gas natural) en la matriz de energía primaria global representa el 81% (IEA, 2012), en el caso brasileño esta proporción es de solo 48 %, como lo muestra la gráfica 1 descrita a continuación.

Gráfica 1. Las fuentes de energía primaria en Brasil



Fuente: Empresa De Pesquisa Energetica (2014). *Balance energético nacional*. Ministério de Minas e Energia. Brasil.

Por ello, el resto de la energía proviene de fuentes renovables, destacándose la elevada participación de la energía hidroeléctrica, 16% y la bioenergía, que incluye al etanol, biodiésel, leña y carbón vegetal. Así, el punto de cambio en la matriz energética brasileña sucede a partir de

la Crisis Energética de 1973, cuando el país sudamericano desarrolló una política de investigación y desarrollo para implementar programas para el uso de energías renovables a partir de los recursos energéticos más abundante de su territorio: la biomasa. En este contexto, en Brasil inicialmente se implementaron dos programas de biocombustibles:

- **PRO-ALCOOL:** Inició en 1975 con el objetivo de introducir al alcohol como combustible sustituto de la gasolina.
- **PRO-OLEO:** Inició en 1980 con el objetivo de introducir a los aceites vegetales como sustitutos a los derivados de petróleo en los motores diésel.

Al final, ambos programas marcaron los precedentes en Brasil para el desarrollo de energías renovables como una respuesta de desarrollo endógeno, con la utilización de recursos disponibles en el país, ante el cese del suministro energético proveniente del extranjero. La bioenergía trasciende dentro de ellas por su compatibilidad con sus contrapartes fósiles, ya que como se expondrá a continuación Brasil no es autosuficiente en combustibles líquidos.

2.1.2 Estructura del mercado de combustibles fósiles automotores en Brasil

Los mercados energéticos de combustibles líquidos para motores de combustión interna de México y Brasil tienen similitudes estructurales, por ejemplo, su producción nacional no satisface la demanda interna de combustible, por lo que tienen que recurrir a importaciones. Para el caso brasileño, las importaciones de combustibles han aumentado de forma constante, al pasar de los 8 mil 270 millones de dólares en el 2010 a los más de 12 mil 890 millones en el 2014. Por ello, *Petrobras* estima que de no implementar las inversiones necesarias para el 2020 se importarán anualmente 22 mil millones de dólares de combustibles derivados de petróleo (Ministério de Minas e Energía, Enero de 2015)

La segunda similitud entre ambos países es que subsidian el precio de los combustibles, ya que, durante el 2012, México destinó 20 mil millones de dólares a los subsidios energéticos, mientras que Brasil destinó en el mismo año 11 mil 700 millones de dólares al mismo rubro (Párraga, 17 de noviembre de 2013). El efecto directo de estos subsidios es que ocultan el precio real del combustible originando graves distorsiones, como las que se señalan a continuación:

- **Económica:** Los subsidios ocasionan un incremento del déficit público al costear con las importaciones, con repercusiones en la estabilidad macroeconómica del país.

- **Ambiental:** La demanda artificial incrementa el tráfico y el volumen de energía consumida, con ello ocurre un aumento de las emisiones contaminantes con efectos locales, pérdida de la calidad del aire, y globales, como el cambio climático.
- **Social:** Generan dos distorsiones en esta dimensión. Primera, los subsidios energéticos benefician a las personas de mayores ingresos, poseedoras de vehículos. Segunda distorsión, el traspaso de fondos públicos disminuye el presupuesto destinado al gasto social.

En síntesis, el efecto del precio artificial de los combustibles fósiles ocasiona que los consumidores brasileños y mexicanos prefieran el uso de vehículos privados al transporte público con graves consecuencias ambientales, económicas y sociales. Aunado a las variables mencionadas, el efecto más grave de la distorsión de los precios energéticos es que inhibe el desarrollo, uso y viabilidad de las energías alternativas, necesarias para una transición energética, al presentar a los combustibles fósiles como la opción económica más viable y ocultar los efectos ambientales que conlleva su uso. Por ello, tanto México como Brasil necesitan modificar su política energética, en tres puntos:

1. Reducción de los subsidios energéticos e implementación de políticas públicas de fomento a la eficiencia energética en vehículos.
2. Aumento en la investigación, uso y producción de energías alternativas.
3. Mitigación las emisiones de GEI.

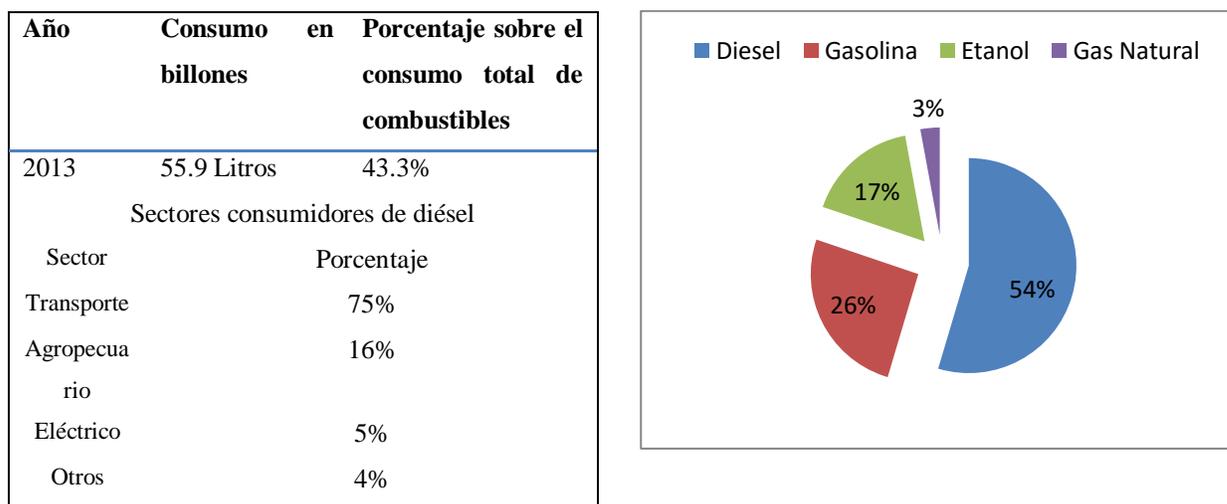
Por un lado, la reducción de subsidios debe conducir a la eficiencia energética, la cual incluye el impulso fiscal al uso de vehículos eficientes energéticamente, un vehículo diésel consumen menos energía que uno a gasolina. En esta línea, el biodiésel se inserta dentro los dos últimos puntos al aumentar la seguridad energética nacional, incrementar la inversión económica en el sector rural y mitigar los GEI al utilizarse de forma directa en sitios urbanos altamente contaminados.

2.1.3 Análisis del mercado interno del diésel fósil en Brasil

Al igual que otros países de gran extensión territorial, Brasil es un país con un alto uso de combustibles derivados del petróleo destinados principalmente para su uso en motores de combustión interna. En este contexto, el consumo de combustibles en dicho país aumentó durante el periodo 2003-2013 a una tasa del 6.1% anual, con un consumo total de 129 billones de litros.

De este universo cuantitativo, el combustible de mayor utilización fue el diésel mineral con 55.9 billones de litros anuales, equivalente al 43.3% del total (Gráfica 2).

Gráfica 2 El diésel y el mercado de combustibles en Brasil



Fuente: Empresa De Pesquisa Energetica (2014). *Balance energético nacional* Ministério de Minas e Energia. Brasil.

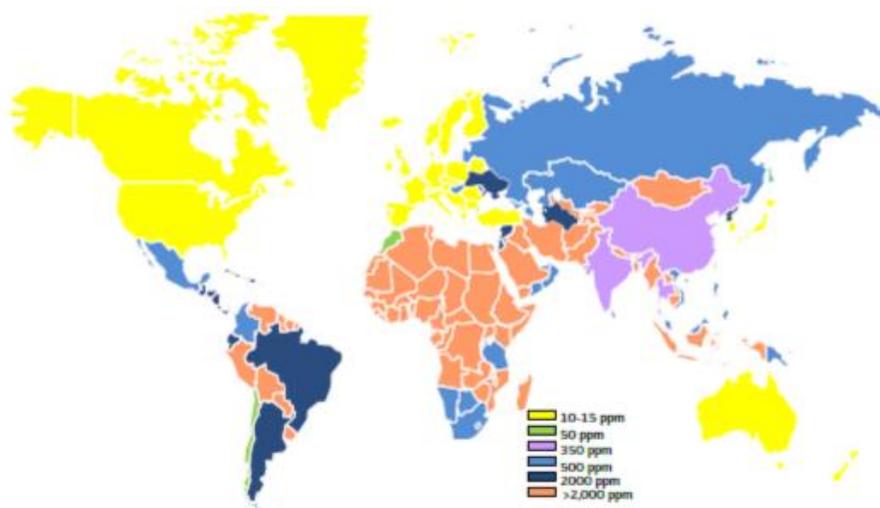
En cuanto a su uso, la Gráfica 2, nos muestra que en Brasil, el 75% del consumo del diésel corresponde el sector transportes (terrestre, ferroviario, fluvial y marítimo), el 16% al sector agropecuario y 5% es destinado a la generación eléctrica. Por lo que desde el punto de vista de la seguridad energética nacional, el diésel posee una importancia estratégica al ser parte fundamental en la producción de alimentos, movilización de materias primas, mercancías y personas en un país en constante desarrollo y con un territorio continental amplio. Brasil es deficitario en su producción y por ende este factor obliga al gobierno a diseñar políticas energéticas para estabilizar un combustible diésel con un suministro estable, constante y de calidad acorde a los lineamientos internacionales, puesto que en caso contrario el efecto sobre el bienestar cotidiano de los brasileños es palpable.

2.1.4 Impactos ambientales y sociales del uso de diésel fósil en Brasil

Uno de los efectos del incremento del consumo de diésel fósil en Brasil ha sido el aumento de los problemas de contaminación. En este sentido, *The Clean Air Institute* (2013) sostiene que esto se debe tanto a la antigüedad del parque automotor, que ronda una media de 16 años, como a la baja calidad respecto a otras regiones del mundo del combustible diésel, especialmente en los países miembros de la Unión Europea

Por ello, la baja calidad del combustible diésel en Brasil es responsable del 75% de las emisiones que propician la contaminación atmosférica de las ciudades más grandes del país y el aumento de enfermedades respiratorias (*Clean Air Institute, Ibidem*). Sobre este tema, cabe apuntar que la calidad del combustible diésel aumenta conforme exista una menor presencia molecular de azufre por unidad de volumen. En términos comparativos, México y Brasil comparten el problema de la baja calidad de los combustibles, con una cantidad de azufre por partícula por millón (ppm) de 2000 ppm para Brasil y 500 ppm para México, mientras que en los países miembros de la Unión Europea los niveles son de 10-15 ppm (OPEP, *Ibidem*). Ello ocasiona que América Latina quede desfasada tecnológicamente con graves consecuencias para los habitantes de las ciudades al no contar las empresas de transporte y las compañías con motores e innovaciones técnicas que aumentan el rendimiento de combustible y disminuyen la generación de emisiones contaminantes

Mapa 1. Especificaciones sobre el límite de azufre en combustible diésel a nivel mundial (Partes por millón).



Fuente: OPEP (2012). *World Oil Outlook*. Organización de los Países Exportadores de Petróleo. Viena.

En resumen con lo expuesto anteriormente puede condensarse que la política energética brasileña actual en materia de combustible diésel origina los siguientes efectos:

- I. Aumento de las importaciones del diésel:** Sobre este tema, el Director de Petrobras, José Carlos Cosenza señala que las importaciones de diésel durante el

2013 han pasado de 115 000 barriles diarios a más de 300 000 barriles diarios (Ministério de Minas e Energía, Enero de 2015).

- II. **Disminución de calidad de vida:** El aumento del tráfico en las ciudades conduce a un incremento en la contaminación ambiental en las ciudades brasileñas que origina un aumento en los casos de enfermedades respiratorias (*Clean Air Institute*, Op. Cit).
- III. **Desequilibrio en la balanza comercial:** El aumento del precio del petróleo y el crecimiento de la demanda interna han disparado las importaciones de diésel.
- IV. **Inhibición en la generación de energías alternativas:** Los subsidios provocan un precio artificial, con ello se envía un falso mensaje al consumidor al ocultar el precio real. Esto ocasiona un aumento del consumo y desalienta la investigación e inversión en proyectos de uso y producción de combustibles alternativos al diésel fósil.
- V. **Crisis ambiental:** Al derivar de una fuente fósil, el diésel genera emisiones de GEI que contribuyen al Cambio Climático Global.

Por lo tanto y ante un escenario de inseguridad energética, crisis medioambiental y desequilibrio comercial es necesario para Brasil implementar tres políticas gubernamentales:

- **Ambiental:** Mejorar la calidad del combustible e introducir tecnologías avanzadas para reducir el consumo.
- **Social:** Desarrollar esquemas integrales de transporte público urbano y redistribuir los subsidios energéticos.
- **Económica:** Aumentar la producción interna de combustibles alternativos al diésel mineral y modificar la política fiscal de subsidios.

Así, como puede observarse en el escenario expuesto, Brasil experimenta un elevado consumo de energía extrasomática proveniente de fuentes fósiles con repercusiones locales y globales, que le han generado una dependencia y vulnerabilidad hacia un entorno internacional inestable. Por ello es necesario iniciar una transición a partir de una fuente energética con

viabilidad económica, social y ambiental, obtenida a partir de recursos renovables presentes en Brasil.

2.2 El Programa Nacional para la Producción y Uso del Biodiésel de Brasil como una estrategia de desarrollo sostenible

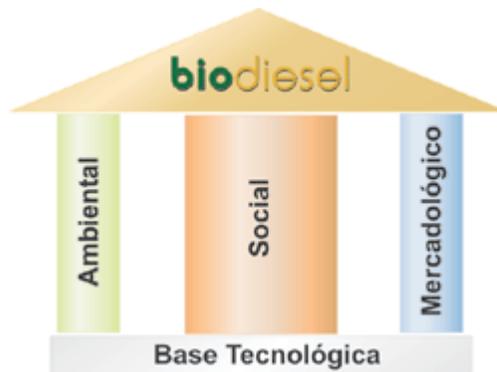
Ante el panorama energético expuesto anteriormente y focalizado en el diésel, una de las estrategias implementadas a nivel mundial ha sido el desarrollo de biocombustibles con compatibilidad técnica de sus contrapartes derivadas del petróleo, pero sin los inconvenientes de estos últimos en relación a la generación de emisiones de GEI, el aumento de las importaciones o la baja generación de empleos.

En este sentido, Brasil ha implementado una política energética desde el 2003, pionera a nivel mundial por tener tales objetivos, que ha denominado el Programa Nacional para la Producción y Uso de biodiésel (PNPB), con el objetivo sustituir paulatinamente el consumo de diésel fósil por el combustible orgánico, acorde con la viabilidad técnica, económica, ambiental y social del país. Por lo que como se ha expuesto anteriormente, el combustible diésel es el energético mayor utilización en el país, con un aumento constante de su consumo y cuyas cifras han rebasado la infraestructura del país, por ello ha recurrido a importaciones, las cuales como se señaló anteriormente crecen anualmente. Ante este desequilibrio comercial que vulnera la seguridad energética del país se ha optado por la búsqueda de combustibles alternativos, como el biodiésel.

2.2.1 Los objetivos del Programa Nacional para la Producción del Biodiésel en Brasil (PNPB)

El Programa Nacional de Producción y Uso de biodiésel (PNPB) se define como un instrumento del gobierno federal de Brasil implementado a partir del 2003, como una propuesta de desarrollo regional para generar energía renovable a partir de materiales locales disponibles en el país (Ministério de Minas e Energía, 2014).

Figura 5. Pilares del biodiesel



Fuente: Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento (2006). *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Embrapa Informação Tecnológica. Secretaria de Produção e Agroenergía. Segunda Edição. Brasil.

De este modo, la base productiva del PNPB es el sector primario, especialmente la agricultura y la materia prima utilizada mayoritariamente es el aceite vegetal (en donde vas a hablar de la superficie utilizada, costos de producción y producción de biocombustible y su transformación. No obstante, para convertir a esta materia prima en un combustible renovable es necesario desarrollar una base tecnológica interna que permita la implementación de técnicas agronómicas e industriales acordes a la estructura socioeconómica de cada una de las regiones del país y compatibles con el medio ambiente. Por ello, la cadena productiva del biodiésel es multisectorial y abarca los distintos sectores económicos.

A pesar de que Brasil es una referencia a nivel mundial por su nivel de eficiencia en la producción de otro biocombustible, el etanol generado partir de la caña de azúcar con un balance energético de 8.3 unidades de energía renovable por unidad de energía fósil, los beneficios económicos no han permeado hacia una mejor redistribución de la renta económica entre los estratos más vulnerables de la población rural brasileña (IICA, 2007). Por ende, uno de los pilares del PNPB que muestra la Figura 5 es la inclusión social mediante la generación de empleo y el incremento de la renta de los agricultores a través de su integración en la producción de biodiésel. De este modo lo ha establecido el PNPB mediante las siguientes directrices:

- Generación de empleo y aumento de la renta en los pobladores rurales
- Reducción de las disparidades regionales

Para impulsar estas iniciativas, el gobierno brasileño diseñó un instrumento jurídico conocido como “Sello de Combustible Social”, el cual es descrito a continuación.

2.2.2 El marco legal del PNPB

La experiencia de Brasil en el uso de combustibles alternativos es amplia, puesto que desde 1975 se inició la introducción del etanol como combustible. Por ello, para el caso del biodiésel la interrogante era determinar la estrategia a seguir para introducir el biodiésel dentro del mercado energético brasileño.

Al respecto, la experiencia mundial consiste en dos vías para su utilización. La primera es el uso del biodiésel en estado puro, la segunda consiste en la mezcla entre el combustible fósil con el biocombustible. Ante este panorama, el gobierno brasileño optó por implementar la segunda estrategia, la cual ya se ha implementado en Alemania. Dicha estrategia consiste en la mezcla del biocombustible con el diésel mineral, ya que los motores modernos pueden utilizar diésel mineral mezclado 20 por ciento con biodiésel sin necesidad de realizar adaptaciones tecnológicas, a esta mezcla se le conoce B20 (REN 21, 2013). En este escenario, el gobierno brasileño promulgó una ley federal en el 2003 con el objetivo de otorgar certeza jurídica a los inversionistas y productores agrícolas del país para garantizar la inclusión del biodiésel como un combustible respaldado por el marco normativo vigente.

2.2.2.1 La creación del mercado nacional del biodiésel mediante la ley federal 11.097

La Ley Federal No. 11.097, promulgada el 13 de enero de 2005, estableció el marco regulatorio y programático para la reglamentación e introducción del biodiésel en la matriz energética brasileña. La Ley 11.097 estableció tres etapas para regular la mezcla entre ambos combustibles diésel: el orgánico y el mineral. Además, la Ley 11.097 estableció que la entidad gubernamental encargada de hacer cumplir la política energética es la Agencia Nacional de Petróleo y el espacio temporal del Programa es del 2006 al 2020. . La primera etapa abarcó del periodo 2005 al 2007 y consistió en autorizar la adición de 2% de biodiésel (B2) al diésel expedido en el país, con esta medida se estableció un mercado de 800 millones de litros anuales. La segunda etapa consistió en dos estrategias, por un lado se amplió la cantidad autorizada hasta el 5% de biodiésel (B5), por lo que el mercado potencial alcanzó los 2 mil 400 millones de litros anuales y por otra parte la mezcla B2 se estableció como obligatoria en el país. Por último, a partir de 2014 la mezcla B5 se ha establecido como obligatoria y se espera que para el año 2020 la mezcla obligatoria alcance el B20 en la medida en que los fabricantes automotrices garanticen la viabilidad técnica.

Cuadro 2. Mezcla del biodiésel autorizada en Brasil por la Ley Federal 11.097



Fuente: Presidencia de la República de Brasil (2003). *Relatório do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de Óleo Vegetal: Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Brasília.

De esta forma, la importancia para el PNPB del marco normativo establecido por la Ley 11.097 es la creación de un mercado cautivo de biodiésel en el país, que ha crecido constantemente desde el 2005, a partir de este hecho, los inversionistas, en distintas escalas y posiciones en la cadena productiva, pueden tener la certeza de que el programa perdurará en el tiempo y se pueden realizar reajustes en la producción del biocombustible.

2.2.3 Desarrollo e innovación: La Red Brasileña de Tecnología de biodiésel como catalizadora de los Proyectos de biodiésel

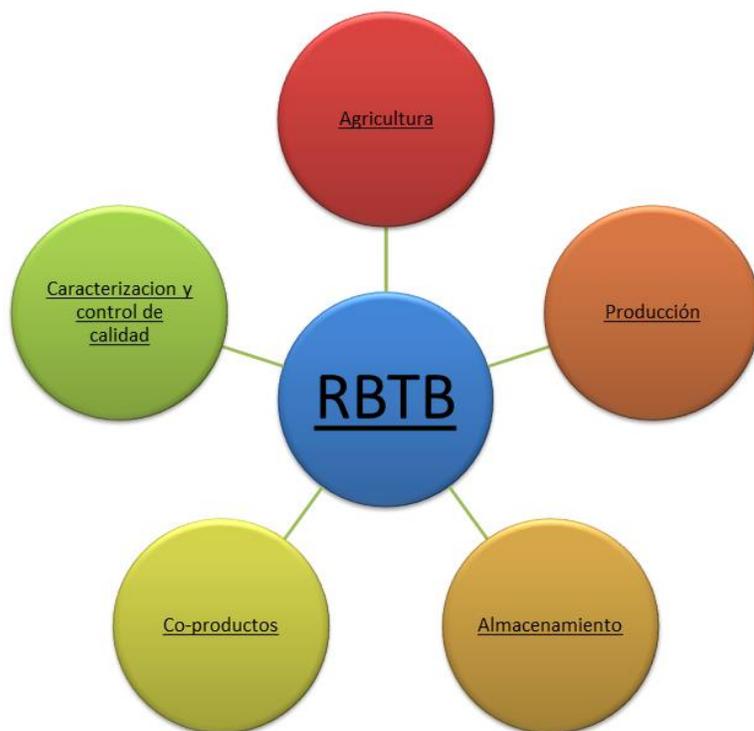
En complemento al marco jurídico, una de las bases del PNPB es el desarrollo tecnológico, presente en cada una de sus etapas productivas, desde la siembra de los cultivos que forman parte de la materia prima hasta el proceso industrial que conlleva a la obtención del biocombustible. En un contexto histórico, los avances tecnológicos de mayor trascendencia realizados por los científicos brasileños en el área de bioenergía han sido los siguientes:

- **1979:** La empresa Fiat desarrolla en Brasil el primer vehículo capaz de utilizar etanol en estado puro.
- **1980:** El Doctor Expedito Parente y su equipo de investigadores de la Universidad Federal de Ceará desarrollan el primer proceso industrial para la obtención de biodiésel y bioqueroseno (combustible de aviación), a partir de aceite contenido en las semillas de maracuyá (CENBIO, 2008).
- **2003:** Las filiales brasileñas de Magneti Marelli y Volkswagen desarrollan y lanzan al mercado el primer vehículo de combustible flexible (*flex fuel* en inglés) que puede funcionar indistintamente con etanol o gasolina (Rodrigues, 2006).

- **2006:** La empresa Petrobras desarrolla un proceso para la producción de un combustible similar al biodiésel denominado H-Bio y que se obtiene a partir del rompimiento de las moléculas del aceite vegetal mediante la hidrogenación, con lo que se evita la utilización de alcohol y sosa caustica (Rothkoph, 2007).

Tal como puede observarse, en Brasil existe un amplio historial científico respecto a la utilización de combustibles alternativos, por ello para la implementación del PNPB en el territorio brasileño se requirió del desarrollo de una red que aglutinara las investigaciones realizadas por las universidades y centros de investigación respecto al biodiésel. De esta forma, se creó la Red Brasileña de Tecnología del (RBTB), compuesta por 56 instituciones, coordinados por la Secretaría de Desarrollo Tecnológico e Innovación y el Ministério de Ciencia y Tecnología (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006). En lo que respecta a su área operativa, la RBTB se compone de cuatro áreas como lo muestra la Figura 6.

Figura 6. Estructura de la Red Brasileña de Tecnología de biodiésel



Fuente: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2006). *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Embrapa Informação Tecnológica. Secretaria de Produção e Agroenergia. Segunda Edição. Brasil.

La importancia de la RBTB es la articulación de las distintas investigaciones realizadas por las instituciones del país, destacándose la Empresa Brasileira para la Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y las Universidades Federales, sobre el biocombustible, dado que en un entorno competitivo sólo la innovación tecnológica posibilita el éxito de nuevas empresas (Rathkopf, 2007). Así, en lo que respecta al biodiésel y debido a que Brasil está integrado a la economía mundial, es necesario que los procesos innovadores desarrollados en las instituciones brasileñas puedan implementarse de forma operativa en la cadena productiva del biocombustible, que como apunta en la Figura 6, tiene como base la actividad agrícola pero finaliza en la producción de un bien industrializado, el biodiésel.

2.2.3.1 Dos modelos de producción industrial de biodiesel

En relación, al punto anterior, el biodiésel, definido como un combustible renovable, biodegradable y neutro en carbono, que se obtiene a partir de la mezcla del aceite vegetal con un alcohol mediante un catalizador, en un proceso bioquímico conocido como transesterificación (IICA, 2010). De este modo, puede apreciarse durante el proceso se utiliza el alcohol por lo que en Brasil se han desarrollado dos rutas tecnológicas para producir biodiésel, descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Rutas tecnológicas para la producción de biodiésel		
RUTA TECNOLÓGICA	VENTAJA	DESVENTAJA
METANOL	Menor costo Menor consumo energético	No renovable Producto importado
ETANOL	Mayor rendimiento Disponibilidad nacional Renovable Biodegradable	No biodegradable Mayor consumo Mayor costo Consumo energético más elevado

Fuente: Rodrigo A. Rodrigues (2006). *Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade*. En: *O futuro da indústria: biodiesel*: colección de artículos. Brasília:

En el panorama expuesto anteriormente sobre la etapa industrial del biodiésel en Brasil es de suma importancia para que pueda considerarse como sostenible puesto que el optar por una ruta tecnológica u otra genera diversos inconvenientes. Por ello, la mejor vía de producción de biodiésel es la etílica debido a que utiliza como insumo el etanol, un biocombustible renovable,

biodegradable y producido en Brasil. Con ello, la producción del biodiésel disminuye su generación de GEI y evita la erogación de divisas en el extranjero en caso de que se optará por la vía metilica.

2.3 La viabilidad económica del biodiésel a partir de la agricultura en Brasil

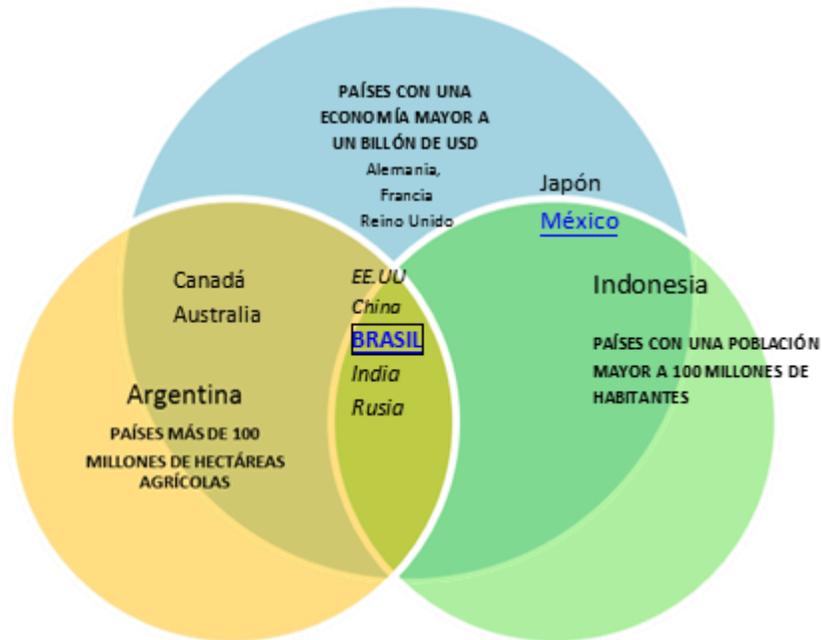
Implementar los objetivos estipulados en el PNPB no ha sido tarea fácil dadas las dimensiones del país, los intereses divergentes entre productores agrícolas e industriales. Por ello, Brasil ha tenido que reorganizar su estructura de materias primas aptas para su transformación en biodiésel. En este contexto, cabe señalar que el país cuenta con un amplio potencial para el desarrollo de cultivos oleaginosos, identificándose hasta 200 plantas con viabilidad técnica y agronómica (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006).

En este contexto cabe recordar que durante la primera década del siglo XXI, Brasil ha sido uno de los países de mayor expansión económica a nivel global, al incrementarse su Producto Interno Bruto de los 644 mil millones de dólares en el año 2000 a más 2 mil 224 billones de dólares en el 2015, por ello se considera que el país sudamericano se convierta en la quinta economía mundial para el año 2050 (PNUD, 2013).

2.3.1 El potencial agrícola de Brasil

En Brasil, el aumento de la generación de riqueza nacional ha estado sustentado en gran parte a partir del potencial agrícola. Al respecto, Sachs (2007) sostiene que las cadenas agroindustriales generan una producción anual 990 mil millones de dólares anuales, cifra que equivale al 44% de la economía brasileña (Cuadro 3)

Cuadro 3. Potencial agrícola de Brasil a partir de la interacción de tres variables



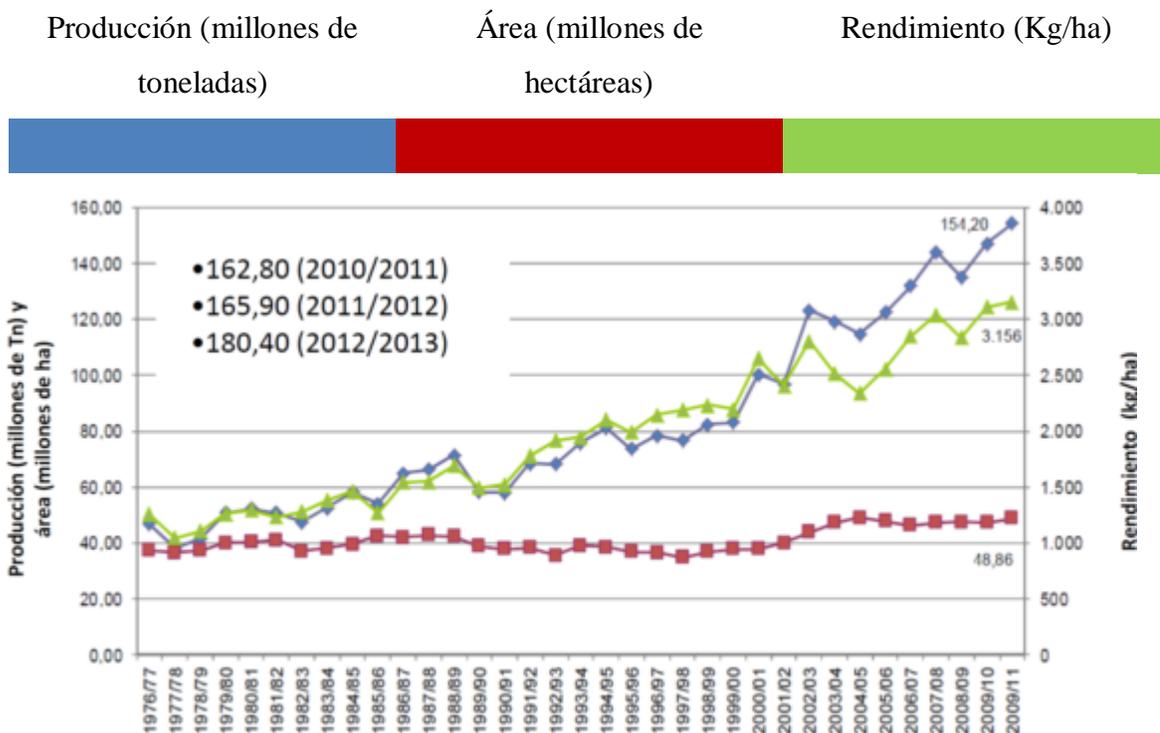
Fuente: OECD/FAO (2015). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. OECD Publishing, Paris.

Cabe destacar que el avance de dicho sector en los últimos años, ha sido resultado de la implementación de políticas públicas para integrar a dicho sector con otros sectores económicos, como la industria alimenticia, bioenergética y de maquinaria agrícola, para lograr una cadena de valor de diversos productos donde el sector primario es ofertante y demandante de los mismos. En adición a lo mencionado, la siguiente ilustración demuestra la interacción entre tres variables y los países que las poseen. El círculo verde claro muestra a aquellos países que poseen más de 30 millones de área agrícola, el círculo verde oscuro a aquellos que poseen más de 80 millones de habitantes y el círculo amarillo a los que poseen un PIB superior a un billón de dólares.

El resultado muestra que únicamente existen cinco países que poseen las tres variables analizadas: Estados Unidos, China, India, Brasil y Rusia. Pero, de ellos, únicamente Brasil es el que posee una menor población y una mayor superficie agrícola, por lo que su papel en el mercado mundial de productos alimenticios, biocombustibles y fibras textiles es fundamental en las próximas décadas. La balanza comercial brasileña incrementó su superávit, al pasar de los 7 mil millones en 1990 a más de 73 mil millones en 2012, superando a Estados Unidos y

Argentina, que convierten al país sudamericano en el mayor exportador mundial de alimentos (Pacheco, 2012).

Gráfica 3. Evolución de la producción agrícola en Brasil



Fuente: OECD/FAO (2015). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. OECD Publishing, Paris.

En contraparte a su potencial, uno de los mayores problemas del sector agroindustrial brasileño es el bajo valor agregado de la producción, por ello una de las alternativas para Brasil es la creación de productos de mayor complejidad como es de los biocombustibles. Así, la base para la implementación del PNPB es la producción agrícola del país, la cual se ha incrementado paulatinamente desde la década de los noventa. En este sentido, la Gráfica 3 ilustra la correlación entre tres variables: área cultivada, productividad y rendimiento con el siguiente resultado:

- De 1976 a 2013 el área cultivada en Brasil ha oscilado entre 40 y 50 millones de hectáreas anuales, cifra que representa el 5.88% de la superficie total del territorio brasileño estimado de 855 millones de hectáreas.
- En el mismo periodo de tiempo, la producción pasó de 45 millones de toneladas hasta 180.4 millones de toneladas (Durante el ciclo, 2012-2013).
- La productividad pasó de 1 200 kilogramos por hectárea (kg/ha) a más 3 900 kg/ha.

En resumen, Brasil ha logrado incrementar su producción agrícola a partir de una combinación de innovaciones tecnológicas y aptitudes naturales de su territorio para incrementar su producción utilizando prácticamente la misma área agrícola. Este incremento se explica por lo siguiente:

- **Tecnología:** La introducción de semillas mejoradas (híbridas y transgénicas), la labranza mínima, la biofertilización y mineralización de suelos.
- **Geografía:** La irradiación solar y el nivel de precipitaciones que permiten la siembra de hasta dos ciclos anuales.

De esta manera, Brasil logró aumentar el rendimiento de cultivos por área al utilizar recursos renovables (agua de lluvia, energía solar y biofertilizantes) y al mismo tiempo disminuir su consumo de energía extra somática (combustibles fósiles) para aumentar la producción agrícola al aprovechar las ventajas naturales del territorio brasileño mediante el uso de tecnología agrícola que disminuye el consumo energético. De este modo, Brasil se ha convertido en uno de los mayores productores agrícolas al contar con ventajas naturales que le permiten cultivar durante todo el año mientras que sus rivales del hemisferio norte (Estados Unidos, Canadá y Europa Occidental) se encuentran congelados. Por ello, Beltrao (2006) considera que Brasil existe un potencial inmenso por la diversidad de materias primas para la producción de biodiésel que simplemente no se pueden producir en Estados Unidos y Alemania, los países líderes en dicho tema, por ello, el país sudamericano debe de aprovechar al máximo su ventaja geográfica. Ante este contexto, es necesario evaluar y comparar los distintos cultivos para determinar su viabilidad técnica, económica, social y ambiental.

2.3.1.1 Cultivos convencionales con dominio tecnológico

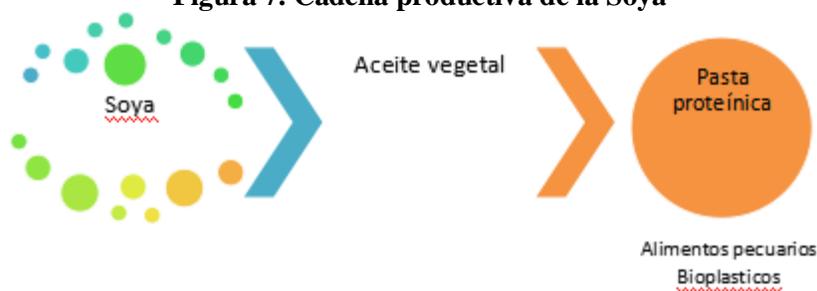
Los cultivos con dominio tecnológico son aquellos cultivos ya implementados a gran escala en el país sudamericano y que cuentan con un paquete tecnológico que permiten la siembra y producción de forma económicamente viable y con la aplicación de algunas técnicas agrícolas ambientalmente sostenible.

Dentro de estos cultivos se encuentran las oleaginosas de mayor producción en Brasil, como la soya o el algodón.

A) Soya (*Glycine max*)

La soya es una planta originaria del noreste de Asia y comenzó a ser domesticada hace más de 5000 años. Su cultivo es anual y su ciclo vegetativo varía entre 3 y 6 meses. La soya crece en latitudes entre los 0° y 38°, y altitudes menores a los 1000 metros. A nivel mundial, la soya se ha convertido en el cultivo oleaginoso de mayor producción y de valor económico. Esta importancia obedece a que mediante un proceso industrial del grano de soya se obtienen dos productos: el aceite vegetal y la pasta proteínica (Figura 7). De cada uno de ellos derivan subproductos que tiene una enorme variedad de aplicaciones, tanto para la alimentación humana como para su uso industrial, puesto que actualmente el aceite de soya es la mayor fuente de biodiésel en la actualidad (IICA, 2010).

Figura 7. Cadena productiva de la Soya



Fuente: IICA (2010). *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel*. San José, Costa Rica.

En Brasil, la soya se cultivó en el Sur por poseer un clima templado. No obstante, a partir de la adaptación de variedades de soya al clima tropical de las regiones del Centro-Oeste y Sureste por parte de EMBRAPA comenzó su expansión y creció su importancia en la estructura económica del país (*The Economist*, 28 de agosto de 2010). De esta forma, la superficie de soya cultivada en Brasil pasó de las 11 millones de hectáreas en 1977 a más de 24 millones de hectáreas anuales en el 2011 (Pacheco, 2012)

Tabla 3. Ficha técnica de la soya (<i>Glycini Max</i>)	
Ciclo productivo	105 a 135 días
Contenido de aceite	20%
Productividad media	3 900 kg/ha
Productividad potencial	4 500 kg/ha
Rendimiento de aceite	560 lt/ha



Fuente: IICA (2010). *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel*. San José, Costa Rica.

En el mismo periodo de tiempo, la producción de soya pasó de 10 millones de toneladas anuales más de 62 millones de toneladas anuales, con lo cual mientras que el área cultivada se duplico, la productividad aumento en 300%, al pasar el rendimiento de 1100 kg/ha a un rendimiento promedio a más de 3 400 kg/ha (IBGE, 2007). En relación a lo expuesto en la Tabla 3, Pacheco (2012) señala que la expansión en la soya sucedió en Brasil por los siguientes motivos:

- Es un cultivo de ciclo corto, entre 105 y 135 días dependiendo de la región brasileña. Ello permite que la rotación de cultivos, predominando la combinación soya-maíz, proceso conocido como segunda zafra Pacheco (2012)
- Por tratarse de una leguminosa, la soya tiene la capacidad de realizar una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (Gazzoni, Octubre de 2009).
- La industria brasileña ha desarrollado maquinaria agrícola que permite la reducción del ciclo productivo, destacándose los sistemas de labranza cero y siembra directa, técnicas que permiten el reducir la cantidad de combustible e insumos en la siembra de la soya, pero además es compatible con otros cultivos, como maíz y trigo. Ello ha permitido un incremento en la productividad y una disminución en los costos económicos.
- La integración agroindustrial de la soya en Brasil es elevada, puesto que se ha desarrollado una integración con alimentos pecuarios, para el consumo humano y recientemente como materia prima para el biodiésel.

Por otra parte, en cuanto a factores del entorno internacional que incentivan la producción de soya y con ello la disponibilidad de materia prima, podemos citar los siguientes:

- **Crecimiento de la demanda de alimentos:** China, los miembros de la Unión Europea y México se han convertido en los mayores importadores de soya (OECD/FAO, 2015).
- **Incremento del precio del petróleo:** Origina dos efectos que aumentan la producción de soya en Brasil. Primero se incentiva la producción local de biodiésel al alcanzar la viabilidad económica y por otro lado incrementa la demanda internacional de soya en países exportadores de petróleo pero importadores de alimentos, como México, Arabia Saudita o Irán.

De esta manera, los factores externos e internos han favorecido en Brasil para la expansión del soya mediante la combinación de avances tecnológicos con la disponibilidad de recursos naturales del país, que han dado un resultado económico sobresaliente, al representar la cadena productiva de la oleaginosa (desde la etapa agrícola hasta la industrial) el 7.5% del PIB de Brasil, superando la extracción del petróleo crudo, con un 6.9% (ONG Reporter Brasil, Septiembre de 2008).

B) Higuierilla (*Ricinus communis*)

La higuierilla, conocida en Brasil como *Mamona*, es un arbusto de alta rusticidad y adaptabilidad, características que le permiten ocupar los distintos ecosistemas del territorio brasileño, especialmente en aquellas regiones con climas subhúmedos o semisecos, que cabe apuntar ocupan 900 mil kilómetros del territorio brasileño, equivalentes al 40% del territorio mexicano y al 10% de Brasil (IICA, 2010) . En lo que respecta a su utilización como materia prima para la producción de biodiésel, la higuierilla posee las siguientes características agronómicas:

Tabla 4. Ficha técnica de la Higuierilla	
Ciclo productivo	150 a 250 días
Contenido de aceite	48%
Productividad media	1 200 kg/ha
Productividad potencial	5 000 kg/ha
Rendimiento de aceite	580 lt/ha



Fuente: González Ávila, Alfredo *et al.* (2011). *Guía para cultivar Higuierilla (Ricinus communis L.) en Jalisco*. Folleto Técnico Núm.1 INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Por sus características químicas el aceite obtenido de la higuierilla es de alta calidad, Rodrigues (2006) lo considera como el de mayor calidad para la producción de biodiésel debido que es soluble en alcohol y por ende no requiere de energía adicional para estimular su reacción para la producción de biodiésel. En Brasil, el cultivo de higuierilla se desarrolla actualmente en la Región Nordeste del país y su importancia como cultivo energético se debe a los siguientes factores:

- 1. Adaptación:** Es una planta de tipo rustica, con una gran adaptabilidad a diferentes suelos y climas.

2. **Sistema de producción:** El cultivo de la higerilla es intensivo en mano de obra, por lo que se adapta a la agricultura familiar.
3. **Policultivo:** Las características agronómicas de la higerilla permiten que en la misma superficie pueda alternarse con otros cultivos.
4. **Viabilidad técnica:** Dos factores favorecen a la higerilla como cultivo potencial: su cantidad y calidad de aceite. Una hectárea sembrada con higerilla produce 1 200 kilogramos de semillas, de los cuales el 47% de su peso es aceite. Además, la adición del biodiésel fabricado a partir de la higerilla al diésel fósil mejora su calidad de combustión y reduce las emisiones (CENBIO, Noviembre de 2008).

En este sentido, Napoleón Beltrao (Ministério de Minas e Energia, 2014), investigador de EMBRAPA, sostiene que la importancia del cultivo de higerilla para los agricultores familiares es que se trata de un cultivo de comercialización rápida (denominado *cash crop*), puesto que existe una demanda nacional e internacional del cultivo, el productor agrícola puede intercalar la siembra de la higerilla con productos alimenticios, como el maíz y el frijol, de este modo obtener alimentos e ingresos monetarios y así optimizar el uso del territorio agrícola al producir bioenergía y alimentos.

C) Palma de Aceite Africana (*Elaeis guineensis*)

La palma de aceite, conocida en Brasil como dende, fue traída por los esclavos africanos al país en el Siglo XVI como parte de su acervo agro-biológico, adaptándose primeramente a la región que ocupa actualmente el Estado de Bahía. Por sus características agronómicas, se considera a la palma de aceite como un cultivo perenne, con un ciclo de vida de hasta 30 años. En lo que respecta a la producción de aceite, la palma destaca como la planta con el mayor rendimiento por hectáreas, con registros de hasta 5,000 litros por hectárea (Ministério de Agricultura, Pecuária y Abastecimento, 2015). No obstante, en el caso brasileño la palma de aceite ha tenido inconveniente para alcanzar una mayor participación en la oferta de aceite vegetal debido a diversos factores. Uno es la limitación geográfica, ya que obtiene los mayores rendimientos entre los 10° de latitud Norte y Sur, sitios donde se ubica la Selva Amazónica. Otro aspecto que limita su expansión es el alto costo inicial para instalar una plantación, por ello la estrategia del gobierno brasileño ha sido subsidiar a los productores para amortizar los costos.

Por este motivo, la propuesta en el PNPB es realizar la siembra de palma aceitera únicamente en aquellas áreas deforestadas, con ello su producción podría ser viable desde el punto de vista ambiental, económico y social. En este cultivo no pones la ficha técnica, así como tampoco mencionas la calidad del aceite para la producción de biodiésel

D) Cacahuete (*Arachis hypogaea*)

El cacahuete, conocido en Brasil como amendoim, es una planta oleaginosa de ciclo corto, cuyo fruto se desarrolla entre sus raíces, a los cuales se les denomina almendras. La superficie cultivada en Brasil de cacahuete ha tenido épocas expansivas y de contracción. Así, la mayor expansión del sucedió en la década de los setenta, cuando alcanzó una superficie 350 mil hectáreas y una producción anual de 550 mil toneladas.

Tabla 5. Ficha técnica del cacahuete	
Ciclo productivo	120 a 150 días
Contenido de aceite	48%
Productividad media	1 200 kg/ha
Productividad potencial	5 000 kg/ha
Rendimiento de aceite	580 lt/ha



Fuente: IICA (2010). *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel*. San José, Costa Rica.

Posteriormente, en los siguientes dos décadas su producción decayó al disminuir la demanda de aceite vegetal, por lo que su producción anual decayó hasta las 100 mil toneladas anuales (IICA, 2010). Pero, a partir de la puesta en marcha del PNPB en el 2003 su producción ha comenzado a despuntar al alcanzar las 150 mil toneladas anuales en el ciclo agrícola 2004-2005.

De este modo, las características agronómicas mencionadas en la tabla 5, como su elevado rendimiento, alto contenido de aceite y corto periodo de producción se han convertido en los catalizadores de la siembra de cacahuete en Brasil, especialmente en la región sudeste del país, donde se utiliza para la rotación de aquellas áreas utilizadas en el cultivo de la caña de azúcar. Por último, cabe mencionar que el cacahuete es un importante mejorador de suelos al tener la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y con ello contribuye a reducir el consumo de fertilizantes derivados del petróleo.

E) Girasol (*Helianthus annuus*)

El girasol es una planta de ciclo anual originaria de América del Norte y que se adaptado a distintos climas, a tal grado que, se cultiva en los cinco continentes. Su importancia como cultivo oleaginoso radica en la calidad de su aceite y en la posibilidad de utilizar la pasta residual en la elaboración de alimentos para el ganado.

Tabla 6. Ficha técnica del girasol

Ciclo productivo	85 a 140 días	
Contenido de aceite	48%	
Productividad media	2,400 kg/ha	
Productividad potencial	5 000 kg/ha	
Rendimiento de aceite	788 lt/ha	
Porcenta de aceite	45%	
Fuente: Zamarripa, C. Alfredo (2011). <i>Informe final de proyecto: Estudio de Insumos para la obtención de Biocombustibles en México</i> . Convenio de colaboración SAGARPA-INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.		

El área óptima para el desarrollo de girasol son las regiones del Centro-Oeste y Noreste. En este sentido, debido a que el girasol se puede cultivar después de la soya su producción ha ido en ascenso y su producción anual alcanza las 140 mil toneladas. Es una de las plantas con mayor potencial para el uso en la producción de biodiésel debido a su alto rendimiento por hectárea, estimado hasta 880 litros por hectárea. En este sentido, la EMBRAPA estimó que la importancia del girasol es su compatibilidad en la rotación de cultivos, ya que según sus proyecciones, bastaría únicamente el 20% del área destinada a la soya para sembrarse con girasol como segundo cultivo para que Brasil se convertiría en el mayor productor global y el aceite de girasol en la segunda fuente de aceite vegetal después de la soya, puesto que su rendimiento es superior en un 100% (Ferreira *et al*, 2006).

F) Algodón (*Gossypium spp*):

El algodón es una planta adaptada a climas subtropicales y a distintos tipos de suelo. Su periodo de cultivo abarca desde los 120 días hasta los 210 días. Aunque su cultivo se realiza con el fin de obtener materia prima para la industria textil, en Brasil ha cobrado importancia como materia prima para el biodiésel debido a que uno de los productos residuales de la extracción de

la fibra textil son las semillas, las cuales contienen hasta un 20% de su peso de aceite vegetal y es posible obtener hasta 400 litros por hectárea (IICA, 2010).

En lo que respecta a la superficie sembrada y la producción de algodón en Brasil ha tenido una relación inversa. Así, mientras que, en 1977 se sembraban anualmente 4 millones de hectáreas y se obtenía una producción de solo 1 millón 500 mil toneladas de fibra de algodón. Para la zafra 2008, la producción alcanzaba los 3 millones 500 mil toneladas, aunque la superficie sembrada alcanzó solamente el 1 millón de hectáreas sembradas (*Ibidem*). De esta forma, la utilización de las semillas residuales derivadas de la industria textil se ha convertido en una fuente de energía renovable al existir un mercado el PNPB.

Tabla 7. Características del Algodón

Ciclo Productivo	120 a 210 días	
Productividad actual	1900 kilogramos	
Productividad potencial	3100 kilogramos	
Rendimiento por hectárea de aceite	392 kilogramos	
Porcentaje de aceite	14%	

Fuente: Rodrigues, Rodrigo A. (2006). *Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade*. En: *O futuro da indústria: biodiesel: coleção de artigos*. Brasília: MDIC/IEL. Brasil.

2.3.1.2 Cultivos potenciales para la producción de biodiésel

Brasil, por ser un país de una amplia extensión geográfica, posee una enorme variedad de ecosistemas en los que existen plantas nativas con potencial productivo superior a los cultivos comerciales existentes. Sobre este tema, desde los comienzos del programa Pro-Oleo de la década de los setenta se llegó a la conclusión que una de las mayores fuentes de aceite vegetal la constituían las plantas nativas. Así, los investigadores brasileños han identificado desde hace décadas a las palmas babazú y macaúba como las mayores fuentes de aceite vegetal disponibles en el país (EMBRAPA, 1984). De este modo, la puesta en marcha del PNPB constituye una oportunidad para utilizar los recursos naturales subutilizados y que podían constituirse como fuente de energía, alimentos y biofertilizantes para el desarrollo sostenible del país. A continuación se analizan las opciones de cultivos potenciales adaptado a la producción de biodiésel.

A) La Palma Macaúba (*Acrocomia aculeata*)

La macaúba (*Acrocomia aculeata*) es una palma nativa de la América Tropical, presente de México (donde se conoce como Palma de Coyol) hasta Argentina, localizándose en las sabanas tropicales y selvas secas. De esta manera, la importancia de esta especie como fuente de aceite para la producción de biodiésel son dos principalmente: su distribución geográfica y su potencial productivo. En Brasil, la palma macaúba se localiza en las Eco-regiones del Cerrado, el Sertao, el Amazonas y el Pantanal, especialmente en zonas de transición entre ecosistemas, predominando en el Cerrado.

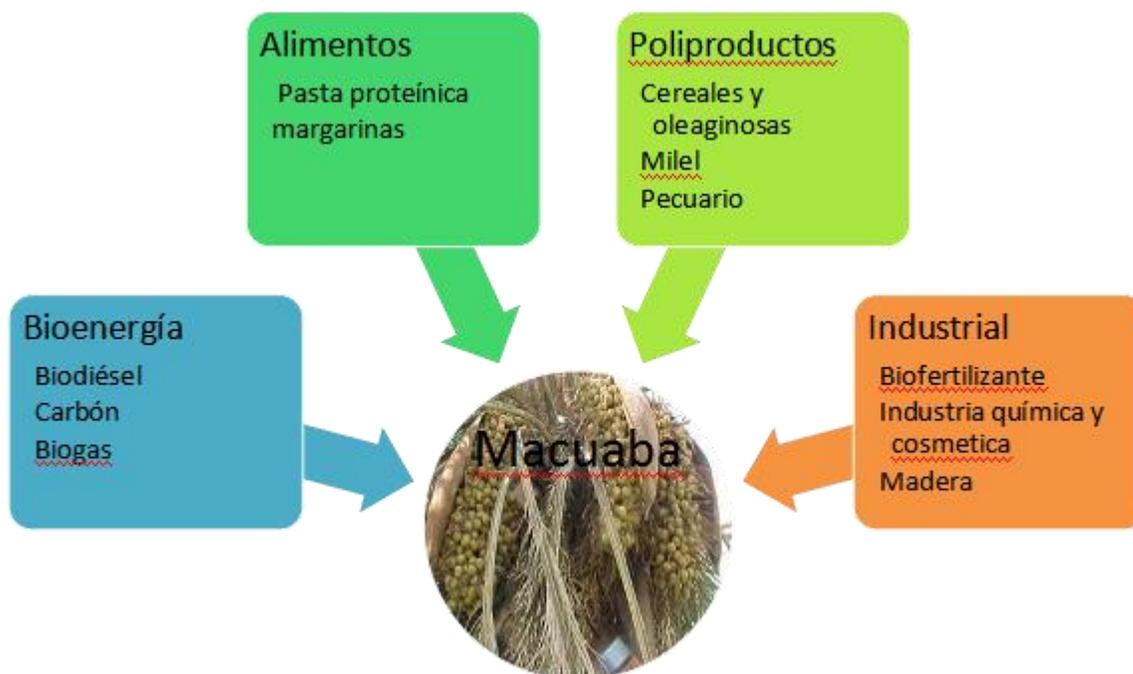
En este contexto es importante mencionar los estudios realizados por Oberländer (24 de Agosto de 2008) en Paraguay concluyeron que a pesar de ser una planta en estado silvestre, la macaúba es el segundo cultivo oleaginoso de mayor productividad a nivel mundial, con un rendimiento por hectárea de hasta 4200 litros, únicamente superado por la palma de aceite africana con 5200 l/ha. Por ello es importante considerar algunas ventajas y desventajas para su utilización como fuente de aceite vegetal.

Tabla 8. Características de la palma macaúba	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• Es una especie nativa de América distribuida desde el Sur de Texas hasta norte de Argentina, por lo que Se adapta a condiciones climáticas, edafológicas y pluviales adversas.	<ul style="list-style-type: none">• Es una especie silvestre por lo que se desconoce su rendimiento en escala comercial y aun es necesario su mejoramiento genético.
<ul style="list-style-type: none">• Elevado rendimiento de aceite por hectárea y alta calidad del mismo para la producción de biodiésel, hasta 4,200 litros por hectárea.	<ul style="list-style-type: none">• Lento desarrollo, la palma tarda en producir hasta por 8 años por lo que se requiere de subsidios gubernamentales iniciales
<ul style="list-style-type: none">• Intensiva en mano de obra, la mayor parte de las labores recurridas en el cultivo son realizados por medio manuales	<ul style="list-style-type: none">• Fuertemente amenazada su distribución original por el avance de la agricultura industrial, especialmente en la Eco-región del Cerrado.
<ul style="list-style-type: none">• Políproductiva, produce aceite, fibra, carbón y madera. Además de otros productos indirectos como miel, pastizales regeneración de suelos.	<ul style="list-style-type: none">• Ausencia de investigaciones sobre manejo agronómico, viabilidad económica y social a gran escala.
Fuente: Oberländer, Dieter <i>et Al</i> (24 de Agosto de 2008). <i>Acrocomia aculeata: a sustainable oil crop</i> . Rural 21 The International Journal for Rural Development (En Línea). Alemania. Fecha de consulta 20 de agosto de 2014.	

Como puede observarse, la palma macaúba cuenta con importantes ventajas respecto a otros cultivos para cumplir con los objetivos estipulados en el PNPB: En primer lugar cumple con el criterio ambiental por tratarse de una especie nativa, por ende adaptada a las condiciones geográficas de Brasil y sin constituir una amenaza para la biodiversidad local. De igual forma, sus requerimientos de agua y fertilizantes son menores a los de cualquier otro cultivo, por lo que cumple con el criterio de considerarse como una fuente de energía sostenible al utilizar únicamente insumos renovables. En adición a esta característica, De Azevedo Filho *et al* (Julio-Diciembre de 2012) consideran que al sumar los productos energéticos (aceite y carbón) de la macaúba su rendimiento energético total de 380 000 Mj/ha, cifra sólo comparable a la palma de aceite africana y a la caña de azúcar, pero con la diferencia de que requiere menos agua y se adapta a suelos pobres en los que estos cultivos no crecerían.

Por otra parte, la macaúba tiene un porte de hasta 12 metros de altura en estado adulto, siendo factible su intercalación con otros productos agropecuarios.

Cuadro 4. Cadena productiva de la palma macaúba (*Acrocomia aculeata*) en Brasil



Fuente: Oberländer, Dieter *et Al* (24 de Agosto de 2008). *Acrocomia aculeata: a sustainable oil crop*. Rural 21 The International Journal for Rural Development. Alemania.

Así, Azevedo Filho *et al* (*Ibidem*) identificó que en Brasil la palma macaúba se puede intercalar con otras plantas, como el ajonjolí, pastos y producción apícola, por ello, además de ser una fuente de energía, una hectárea sembrada con palma macaúba es una fuente de alimentos. Su

fruto produce aceite sino subproductos como los que se describen en el Cuadro 4. Por último y uno de los pilares fundamentales del PNPB, como apunta De Acevedo Filho (*Op. Cit.*) la macaúba es una especie intensiva en mano de obra en cada una de sus etapas: germinación, siembra, mantenimiento, cosecha y procesamiento. Por lo tanto, es una alternativa de generación de empleos en el sector rural y de sostenibilidad ambiental al estar adaptada a los distintos biomas del Brasil.

B) La palma Babassu (*Orbignya phalerata*)

La otra palmácea nativa es la palma babazú (adaptación al español por el autor de su nombre original en portugués palma babassu) se localiza principalmente en el noreste del país, en bosques nativos denominado babazúes. Los primeros estudios sobre el potencial energético del babazú los realizó la EMBRAPA (1984), los cuales estimaron el potencial productivo de la palma de babazú en 12.4 millones de toneladas anuales y su extensión en 18 millones de hectáreas, la totalidad en estado silvestre. Así, el Cuadro 5 muestra a continuación la versatilidad de productos obtenidos a partir del fruto de la palma babazú.

Cuadro 5. Cadena productiva de la palma babazú (*Orbignya phalerata*)



Fuente: EMBRAPA (1984). *Babaçu: Programa Nacional de Pesquisa*. Brasil.

De este modo, los estudios realizados por EMBRAPA (1984) concluyeron que la palma babazú es la mayor fuente de aceite vegetal en estado silvestre disponible en el mundo. No obstante, a pesar de su potencial, actualmente la producción de coco de babazú oscila únicamente las 150 mil toneladas anuales provenientes de plantaciones silvestres y su producción se concentra en el estado de Marañao, con un 94.2%..

En este sentido, la importancia para el PNPB es que la palma de babazú cumple con los tres criterios del programa. Por ser una especie nativa, cuenta con una amplia distribución y su producción es de tipo extractiva, ya que se producción proviene de plantas silvestres. El criterio económico es viable por la amplia posibilidad de productos que permite la producción de diversos tipos de energía renovable: etanol, biodiésel, biogás y carbón. Este criterio refuerza el pilar de la inclusión social dado que se trata de un cultivo no mecanizado y con una amplia cadena productiva, que se tracen en la generación de empleos en el área rural.

C) Piñón mexicano (*Jatropha curcas*)

Una de las especies potenciales para la producción de biodiésel en Brasil es el piñón mexicano, conocido localmente como *pinhao manso*. El piñón, como su nombre lo indica, es originario del sureste de México y es perenne, y su producción comienza partir del primer año y se puede mantener en producción hasta por veinte años. En lo que respecta a sus características agronómicas, el piñón ha cobrado importancia como un cultivo estratégico dentro del esquema del PNPB debido a que crece en tierras marginales, es intensivo en mano de obra y tiene una producción de hasta 2 000 litros/hectárea (IICA, 2010).

En Brasil, el piñón cuenta como aspecto favorable que crece bien en zonas semiáridas y subtropicales, sus requerimientos hídricos son menores a los cultivos anuales, como la soja o el girasol; y puede resistir largos periodos de sequía. Por otra parte, los aspectos negativos son un bajo conocimiento sobre las distintas variedades silvestres de la planta, ello ocasiona que su rendimiento tiende a variar debido a que se desconoce su comportamiento en las distintas condiciones geográficas del país y también a la presencia de toxinas en la torta residual que imposibilita su aprovechamiento como alimento pecuario (ONG REPOTER BRASIL, Abril de 2009).

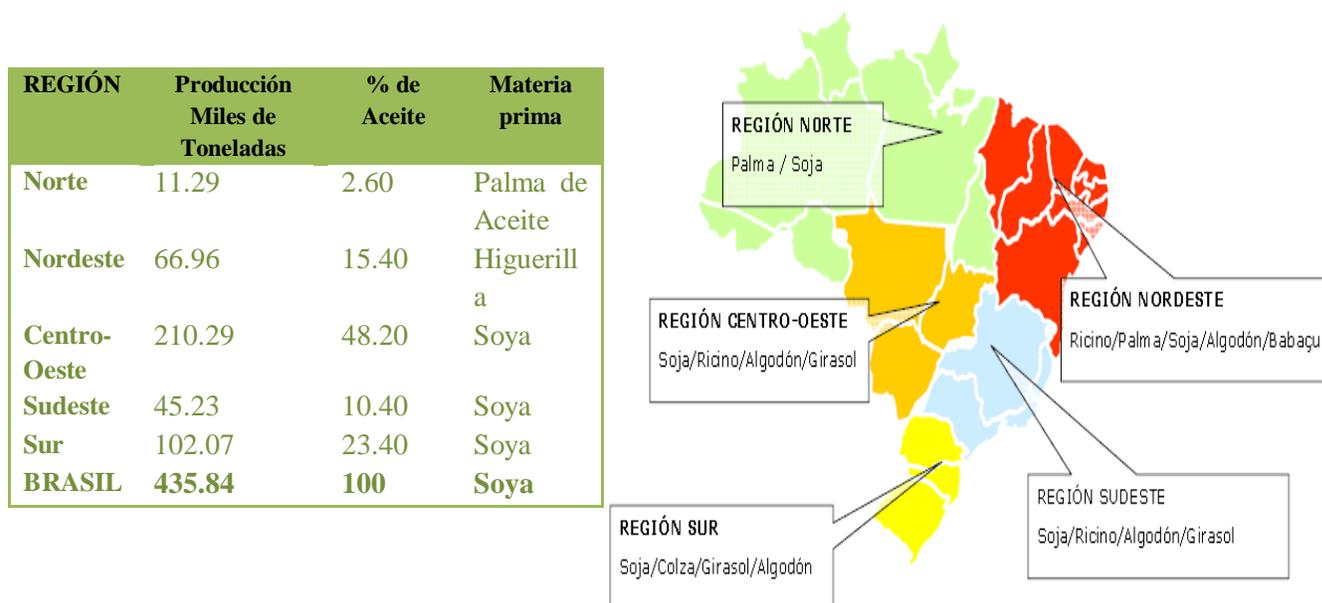
En este último punto cabe señalar que debido a que el Sureste de México se considera como centro de origen del piñón (de ahí que se les denomine mexicano) existen variedades silvestres no tóxicas y que han sido utilizadas como alimento por las culturas originarias

(Zamarripa y Dias, 2008). En este sentido, la utilización de variedades no tóxicas de piñón constituye una área de cooperación en materia científica y tecnológica entre ambos países, ya que la utilización de este tipo de cultivos permitirá el cumplimiento de los objetivos en materia de sostenibilidad ambiental, viabilidad ambiental e inclusión social.

2.3.3 Preponderancia de materias primas y de regiones en el PNPB

La República de Brasil ocupa un territorio de 8 millones 511 mil 965 kilómetros cuadrados, cuenta con una amplia variedad de ecosistemas que permiten una amplia variedad de plantas oleaginosas, tanto cultivadas como silvestres, las cuales están adaptadas a los diferentes suelos y condiciones climáticas del país. En este sentido, la implementación del PNPB en el territorio brasileño constituye una estrategia de desarrollo regional con objetivos de alcance nacional e impacto global, por ello es necesario analizar cada una de estas escalas. En el caso de la producción regional de biodiésel en Brasil, esta se representa a continuación:

Mapa 2. Distribución geográfica y estadística de la producción de biodiésel en Brasil



Fuente: OECD/FAO (2015). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. OECD Publishing, Paris.

A diez años del establecimiento del PNPB, la producción de biodiésel en Brasil tiene como característica principal el predominio de la soya, como materia prima, y la producción se concentra en las regiones del Centro-Oeste y el Sur de Brasil. Esta preponderancia ha obedecido que en mismo lapso de tiempo la soya es la única oleaginosa cultivada capaz de satisfacer la demanda generada por el PNPB debido a la extensión, productividad e integración agroindustrial.

Así, la preponderancia de la soya como materia prima para biodiésel en Brasil obedece a los siguientes factores:

- **La cadena productiva:** desde la siembra hasta los productos elaborados, la soya cuenta con proveedores de insumos y compradores del grano, tanto para consumo interno como para exportación.
- **Economía de escala:** El dominio tecnológico del cultivo a través de la siembra directa ha logrado incrementar la productividad por hectárea, al mismo tiempo que reduce el costo económico por hectárea.
- **Integración productiva:** La rotación de cultivos hace que la soya se convierta en un cultivo necesario para la segunda siembra en Brasil, la cual se realiza con maíz.

De esta manera, al contrastar el marco legal con la producción de oleaginosas en Brasil se puede afirmar que existe una relación entre ambos factores. Por un lado, la estructura jurídica del PNPB creó a partir del 2013 un mercado interno de 2 mil 500 millones de litros de biodiésel anuales al establecer la mezcla obligatoria del 5%, pero para satisfacer este nuevo enorme mercado energético, como apunta Rodrigues (2006)), sólo podía ser cubierto mediante el cultivo oleaginoso de mayor producción, con dominio tecnológico y que fuera competitivo a escala internacional, por lo que en Brasil esta demanda sólo la podía cubrir la soya.

Dentro de los aspectos económicos, la integración de la soya a la cadena productiva de biodiésel ha permitido agregarle valor al grano, que en caso contrario se exportaría, y generar una cadena industrial de la que el biodiésel es solo un subproducto más, puesto que únicamente el 20% del volumen de un grano de soya se utiliza como materia prima, el resto, 80%, es destinado a la producción de harina de soya, la cual se utiliza para la producción de alimento para animales. Así, Brasil incrementa su seguridad energética y su producción alimentaria mediante un programa de biocombustibles pero aún dista de generar los beneficios ambientales y sociales que podría generar al participar otros cultivos en el mercado del biodiésel.

ESPECIE	PORCENTAJE DE ACEITE (%)	CICLO PRODUCTIVO (Años)	PRODUCTIVIDAD Actual - Potencial (litros/Hectárea)
Palma de Aceite	20	25	3 000 a 6 000

Palma macaúba		40	1840 a 4 968
Piñón mexicano	38	40	500 a 4 375
Higuerilla	45	0.3-5	600 a 1 250
Palma babazú	6	40	720
Cacahuete	40	0.3	700
Girasol	48	0.3	672 a 889
Canola	40	0.3	684
Soya	17	0.3	468
Algodón	15	0.3	270
Fuente: IICA (2010). <i>Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel</i> . San José, Costa Rica.			

Sin embargo, como ilustra la Tabla 9, la soya no es el cultivo más eficiente en rendimiento de aceite por hectárea, por ello, es necesario innovar en aquellos cultivos con un mayor rendimiento y que cumplan con criterios ambientales y sociales. Esta estrategia debe de realizarse en función de la magnitud geográfica del país apostar a una estrategia de desarrollo sostenible basado en una sola materia prima implica el desaprovechar el potencial productivo del territorio.

Por otra parte, en lo que respecta a especies vegetales con un mayor rendimiento que los cultivos de ciclo corto, aún no pueden competir con la soya por el escaso desarrollo tecnológico que poseen. En este punto, el caso de la higuerilla, una especie semiperenne y el piñón mexicano del evidente potencial botánico de mayor rendimiento que poseen, su bajo nivel de inversión las ha limitado y ocasiona que los agricultores no cuenten con los incentivos para producirlas. Además, cabe apuntar que estos cultivos cuentan con la ventaja de ser perennes, lo cual significa que durante su etapa de crecimiento almacenan carbono, aumentan la cantidad de nutrientes en el suelo, revierten los procesos de desertificación y pueden convivir con cultivos destinados a fines alimenticios, puesto que pueden crecer de forma intercalada con lo cual su nivel de sostenibilidad se incrementa (Parsons, 2005).

En adición a lo expuesto anteriormente, las dos especies con el mayor potencial de rendimiento en aceite son la palma macaúba y la palma babazú, ambas nativas de los biomas más extensos del país: la selva tropical de la Cuenca del Amazonas y el Cerrado. Por lo que un

estudio realizado por De Acevedo Filho *et al* (2012) apunta que ambas palmáceas cumplen con los requisitos del programa:

- **Económica:** Contribuye a la generación de empleos y obtención de ingresos en una área de escasas opciones económicas. Ambas plantas tienen la capacidad de generar múltiples productos e intercalan con actividades pecuarias y agrícolas.
- **Ambiental:** Son especies nativas y con una alta capacidad de absorción de GEI por lo que pueden acceder a créditos de carbono conforme a lo estipulado por el Protocolo de Kioto de 1997. Además de que el aceite de tales palmas puede ser utilizado directamente en los motores diésel sin necesidad de un proceso industrial por lo que son una alternativa de movilidad y generación de electricidad en comunidades rurales.
- **Social:** Benefician a los pobladores locales al promover el arraigo a la propiedad rural ante el avance de cultivos comerciales e intensivos en capital e insumos industriales, como la soya y el maíz.

Por los motivos anteriormente expuestos, la relación entre el biodiésel y su sostenibilidad se podría resumir de la siguiente manera. A partir de información proveniente del Ministério de Minas y Energía de Brasil (Enero de 2015) encontramos que durante la implementación del PNPB en su modalidad de mezcla B5 obtuvo un ahorro por \$1 500 millones de dólares anuales, con ello el país avanzó en su soberanía energética.

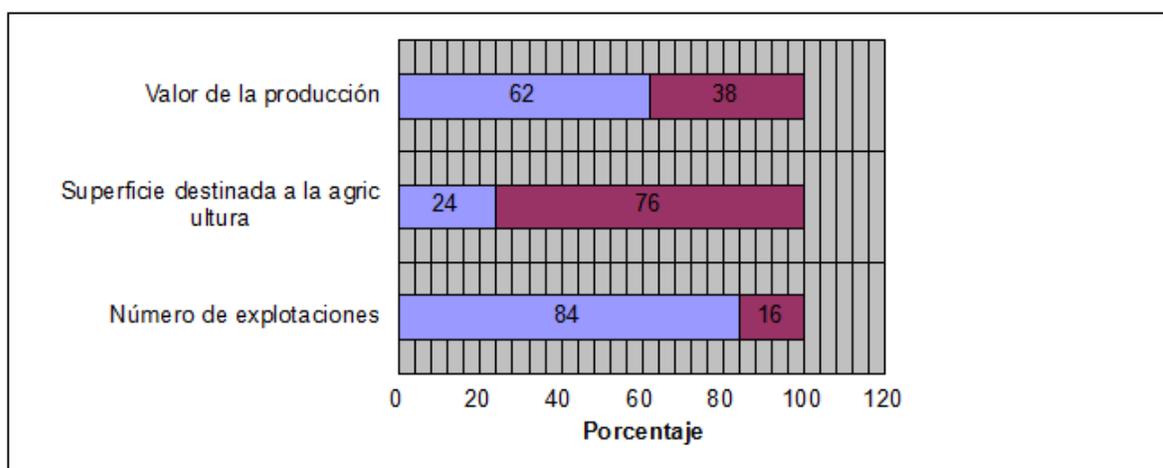
2.4 La inclusión social en Brasil a través del biodiésel

Dentro de los objetivos estipulados en el PNPB, la inclusión social es uno de los temas prioritarios dado que una de las deficiencias históricas de Brasil es la desigualdad social. Esta iniciativa tiene su sustentación a partir del resultado estadístico que muestra el Índice de Gini para el caso brasileño. Mientras que México el Índice de Gini es de 0.607 en Brasil es de 0.841, además de que cabe apuntar que la desigualdad se incrementa en la Región Centro-Oeste y disminuye en la Región Sur (OCDE/FAO, 2013). Ante este contexto, más que un programa gubernamental, el PNPB constituye una oportunidad para el arraigo de los agricultores brasileños en sus tierras porque ofrece un modelo de desarrollo regional al insertarlos en una cadena agroindustrial y de esta forma pueden contribuir en el desenvolvimiento del país.

2.4.1 La agricultura familiar en Brasil: Definición e importancia

En adición a lo expuesto anteriormente, cabe resaltar el concepto de agricultor familiar. En este sentido, Grazziano da Silva (1993) define a la agricultura familiar como aquella unidad de producción donde la dirección del trabajo, los medios de producción y la propiedad de la tierra pertenece al agricultor, asimismo la fuerza de trabajo del agricultor y su familia es mayor a la arrenda y la propiedad es menor a las 50 hectáreas. Al respecto, la importancia de la agricultura familiar es vital para Brasil, ya que su sistema de producción está basado en policultivos y se sustenta más en la utilización de materiales locales más que en insumos industriales, por lo que su consumo energético es menos intensivo al depender más de la energía solar que de la energía fósil.

Gráfica 4. La Agricultura Familiar en Brasil



Fuente: Catherine Aliana Gucciardi Garcez (2012). *Cultivating sustainable development? An analysis of the Brazilian public policy for biodiesel within the context of sustainable development and environmental management*. Center for Sustainable Development. University of Brasilia. Brasil.

En este sentido, la Gráfica 4 sustenta que a pesar de que la agricultura familiar ocupa una menor superficie genera un mayor valor de producción y emplea un mayor número de personas que el Latifundio, por ello, Gucciardi (2012) muestra la importancia estratégica para el país de fortalecer dicho esquema de producción agrícola. Por un lado, por cada 100 hectáreas cultivadas, la agricultura familiar emplea a 15.3 personas, mientras que los latifundios únicamente generan 1.7 empleos en igual superficie. Aunado que la agricultura familiar es responsable del 80% de los empleos generados en el sector rural. En síntesis, la agricultura familiar constituye uno de los pilares para la generación de energía renovable en el marco del PNPB, tanto por motivos sociales como económicos y ambientales.

2.4.2 El sello de combustible social como garante de la inclusión social

Ante el contexto descrito, el PNPB tiene como instrumento para mejorar las condiciones de vida de los habitantes rurales *El Sello de Combustible Social* (SCS), el cual consiste en un certificado que otorga beneficios fiscales a aquellos productores de biodiésel que obtienen su materia prima de agricultores familiares y el cual es concedido por el Ministério del Desarrollo Agrario de Brasil (Ferreira *et al*, 2006). De esta forma, el objetivo del SCS es la inclusión de la agricultura familiar dentro de la cadena productiva del biodiésel y la forma en que la implementa es a través de una política fiscal descrita en la Tabla 10.

Tabla 10. Instrumentos fiscales del PNPB		
TIPO DE PRODUCTORES	IMPUESTO	(REALES/LITRO)
• Agricultores familiares del Norte, Noreste y Semiárido con higuera o palma de aceite.	PIS/COFINS	R\$0.00
• Agricultores familiares de todo el país que cultiven cualquier oleaginosa.		R\$ 0.07
• Agricultores industriales del Norte, Noreste y Semiárido que cultiven cualquier oleaginosa.		R\$0.157

Fuente: Rodrigo A. Rodrigues (2006). *Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade*. En: *O futuro da indústria: biodiesel*: colección de artículos. Brasília: MDIC/IEL. Brasil

De esta manera, se puede observar que la política fiscal implementada en el PNPB favorece a los agricultores familiares de todo el país pero estos beneficios se acentúan en las regiones del Norte y Noreste. Con esta medida, el gobierno brasileño ha implementado dicha diferenciación dado que son las que poseen un menor Índice de Desarrollo Humano, con valores de 0.675 y de 0.713 mientras que la media nacional se sitúa en 0.730 (PNUD, 2013). Aunado al incentivo fiscal, el PNPB otorga el Sello a aquellos productores de biodiésel que cumplan con los siguientes requisitos:

- **Criterio geográfico:** Consiste en estimular al productor de biodiésel en adquirir una cantidad respecto al total de materias los agricultores familiares:
 - a. Noreste: 50%
 - b. Sureste-Sur: 30%

c. Norte-Centro Oeste: 10%.

- **Aseguramiento del mercado:** Consiste en la firma de contratos futuros para la compra-venta de materias primas. En este documento se establecen las condiciones de entrega, precio, calidad, cantidad y tiempo de entrega. El contrato debe contar con el visto bueno del representante de los agricultores familiares, generalmente un sindicato u organización cooperativa.
- **Asesoría técnica:** La obtención del Sello obliga al productor de biodiésel a brindar apoyo técnico en aspectos administrativos, de financiamiento y agronómicos al agricultor con el objetivo de mejorar su productividad.
- **Programas adicionales:** Se encuentra el Programa Nacional de Agricultura Familiar, que consiste en créditos y asesoría para el aprovechamiento sostenible del territorio a partir del potencial del mismo.

De esta forma, el Estado brasileño utiliza criterio de nivel desarrollo geográfico para impulsar la producción de biodiésel a través de la agricultura familiar y mediante un instrumento fiscal como estrategia de mejoramiento del ingreso económico del productor.

2.4.3 Estructura financiera del PNPB en Brasil

Para fortalecer a las empresas productoras de biodiésel poseedoras del Sello de Combustible Social, el gobierno de Brasil ha implementado una estructura financiera con el objetivo de consolidar y desarrollo la estructura productiva| por medio de las siguientes instituciones financieras (Ministério da Agricultura, Pecuária y Abastecimento, 2015).

1.- **Banco Nacional para el Desarrollo Económico y Social (BNDES):** implementó un programa para financiar la producción de 300 millones de biodiésel a aquellos productores que posean el Sello de Combustible Social.

2. **Banco de Brasil:** abrió una línea de crédito por 117 millones de reales para financiar a los agricultores familiares productores de cultivos destinados al biodiésel.

3. **Banco del Nordeste:** financia anualmente a 50 mil agricultores de la Región Nordeste, especialmente a la subregión del semiárido.

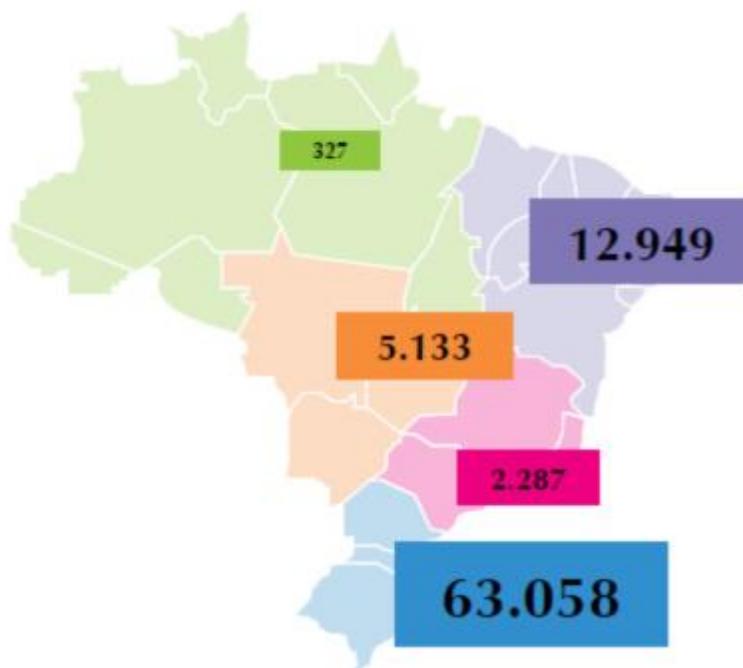
La estrategia de financiamiento público busca impulsar la producción de materias primas mediante el subsidio al crédito bancario pero solamente a aquellos productores que tienen el Sello de Combustible Social y que están inscritos en el Programa Nacional de Fortalecimiento de la

Agricultura Familiar (PRONAF). Con esta estrategia económica el gobierno brasileño pretende mejorar el acceso al financiamiento de un estrato de productores agrícolas que tradicionalmente se encuentran excluidos de los subsidios agrícolas pero que cuentan con un potencial productivo de materias primas para el PNPB.

Al respecto y con lo expuesto anteriormente relativo a los Índices de Gini y de Desarrollo Humano, la falta de atención política a los agricultores familiares es una deuda histórica del gobierno brasileño y añade que existe una ventana de oportunidad para el desarrollo del país. En adición, la inclusión de los agricultores en la producción de biodiésel les otorga certeza de mercado, ya que el sector energético tiene una demanda constante, mientras que los productos alimenticios son más susceptibles a oscilaciones de precios ya que se rigen por un mercado internacional mientras que el biodiésel tiene un mercado constante creado por La Ley Federal 11.097. Así, con la ampliación de la renta económica y la obligación de asesoría técnica que establece el Sello de Combustible Social, los agricultores familiares pueden acceder a innovaciones técnicas, como maquinaria, fertilización y equipos de riego y con ello aumentar su rendimiento e ingresos, para con ello migrar de una agricultura de subsistencia a una agricultura con rentabilidad económica.

Por ello, al contrastar el marco normativo, la estructura económica del sector rural brasileño encontramos que el número de agricultores integrados al PNPB ha tenido un aumento constante, tanto en el aspecto cuantitativo como en el geográfico. De este modo, encontramos que del 2005-2010 el número de agricultores familiares aumentó de 16, 328 a 84,000, una relación porcentual de 513% (Reporter Brasil, 2013).

Mapa 3. Distribución geográfica de los agricultores familiares en el PNPB (en miles)



Fuente: Rodrigo A. Rodrigues (2006). *Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade*. En: *O futuro da indústria: biodiesel*: colección de artículos. Brasília: MDIC/IEL. Brasil

La región sur del país es la que tiene registrada el mayor número de productores en el PNPB, con un total de 63,058 o el 75% del total nacional (Mapa 3). La segunda región con el mayor número de productores es el Nordeste, con 12,949 productores. Sobre este tema, Grazziano da Silva (*Op.Cit*) consideran que la preponderancia de los agricultores familiares del Sur obedece a criterios culturales, puesto que en mencionada región los inmigrantes europeos sentaron las bases para la organización de los agricultores en cooperativas. Así, al contrastar las cifras, encontramos que a pesar de que el Nordeste posee el mayor número de productores familiares, únicamente participan 4 cooperativas en la producción de biodiésel, mientras que del Sur participan 55 cooperativas (ONG Reporter Brasil, Abril de 2009).

En lo que respecta a la organización productiva por la agricultura familiar para el PNPB existen dos modelos predominantes de producción agrícola:

- **Noreste:** Los agricultores familiares utilizan un sistema de policultivos, combinando la producción de alimentos con la producción de materias primas para la producción de biodiésel, predominando la higuera.

- **Sureste:** Los agricultores familiares se basan en la producción de monocultivos divididos en dos ciclos. Durante el primero se producen cultivos destinados al mercado del biodiésel y durante el segundo se siembran cultivos alimenticios.

En este sentido, el modelo agrícola del Nordeste está organizado en pequeñas áreas, por lo que predomina la mano de obra sobre la mecanización, tal como es el caso de los productores integrantes del grupo social el Movimiento de los Sin Tierra (MST) ha decidido organizar la producción entre sus agremiados para realizar la rotación de cultivos e ir intercambiando los cultivos alimenticios con las oleaginosas destinadas a la producción del biodiésel (ONG Reporter Brasil, *Op. Cit*). En este último punto, de los cultivos establecidos en Brasil la higuierilla tiene importantes ventajas desde el punto de desarrollo sostenible porque a diferencia de la soya, sus requerimientos de agroquímicos son mínimos o nulos y existen variedades que pueden ser semi-perennes, permitiendo su cosecha hasta por cinco ciclos agrícolas.

Por otra parte, los aspectos a mejorar para que la higuierilla del nordeste se convierta en una alternativa a la soya están relacionados con la elevación de la productividad del cultivo, ya que es muy variado en el Nordeste, así mientras que en el Estado de Ceará alcanzan los 1000 kg por hectáreas (kg/ha), en el Estado de Bahía se ubican en las 300 kg/ha (OECD/FAO, 2015). Además, el modelo agrícola familiar del Sureste difiere de su contraparte septentrional debido a que las áreas de producción son superiores en términos cuantitativos y cualitativos. En el primer aspecto, un área agrícola familiar del Sureste tiene una media de 20 hectáreas mientras que en el Noreste es de 5 hectáreas (*Ibidem*). En el segundo aspecto, la región del Sureste tiene mejores condiciones edafológicas y pluviales que la del Noreste. La combinación de ambos factores ha favorecido que el modelo agrícola predominante esté basado en los monocultivos, siendo predominante el cultivo de la soya, con un 94 por ciento. Sin embargo, los agricultores familiares de la región Sureste han comenzado a plantar la higuierilla en sus predios, alcanzando un nivel de producción de hasta 1,400 kg/ha y con ello se acerca a la producción local de la soya de 1,900 kg/ha. Por último, Rodrigues (2006)) sostiene que cada punto porcentual de biodiésel en Brasil genera 45 mil empleos en el campo y 135 mil en la ciudad, por lo que en términos sociales, la cadena productiva del biodiésel es positiva.

2.5 El biodiésel y el medio ambiente

La utilización del biodiésel en Brasil con fines ambientales ha sido establecida mediante un mandato legal respaldado por la Ley 11.097/2005 y la Ley 9.478/1997, siendo esta última la que especifica los objetivos de la política energética del país de la siguiente forma:

*“... IV. Proteger el medio ambiente y promover la conservación de energía.
... XVII. Mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y otros tipos de contaminantes en los sectores de la energía, incluso con el uso de los biocombustibles.”*

De esta manera, Brasil utiliza a los biocombustibles como una fuente energética de bajo impacto ambiental. En este aspecto, la utilización del biodiésel sus ventajas son la menor generación de emisiones de GEI debido a que derivan de materias primas renovables, tales como los cultivos oleaginosos o inclusive de materias primas residuales como las grasas animales y los aceites comestibles usados. En este contexto, el Ministério del Ambiente de Brasil ha estimado que ha diez años de su implementación del PNPB (2003-2013) ha conseguido evitar la emisión de 22 millones de toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente debido a la sustitución de 11 mil millones de litros de combustible fósil por combustible renovable. Pero para tener un mejor panorama al respecto es necesario un análisis de mayor profundidad y una herramienta metodológica conocida como huella de carbono.

2.5.1 Análisis de la huella de Carbono

A nivel mundial una de las interrogantes de mayor discusión acerca de la utilización de los biocombustibles a nivel mundial es saber si verdaderamente logran reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en relación a sus contrapartes fósiles, puesto que los combustibles líquidos utilizados en los motores de combustión interna son el último eslabón de un proceso industrial que inicia a partir de la siembra de la materia prima.

Para responder a esta interrogante, la consultoría DeltaCO₂ y CENA (2013) analizó la generación de emisiones de la producción de biodiésel en Brasil durante sus distintas etapas y las ha comparado con la generación de emisiones del diésel mineral importado de la Unión Europea como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Huella de carbono del biodiésel durante su etapa productiva



Fuente: DELTACO₂ y CENA. (2013). *Pegada de carbono na produção de biodiesel de soja*. Centro de Energía Nuclear na Agricultura. Brasil.

El estudio concluyó que el biodiésel tiene una producción fluctuante entre 23.1 y 25.8 gramos de Dióxido de Carbono por Mega Joule de Energía (gCO₂ /MJ) y en contraste, el diésel importado genera 88.3 g CO₂ /MJ, por lo que la emisión de GEI se reduce en más de un 300%. En lo que respecta a su estructura, la etapa agrícola es la mayor generación de emisiones, con una aportación de hasta el 35%, esto se debe a que durante su cultivo la soja requiere el uso de maquinaria agrícola y estas funcionan con derivados del petróleo. Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) estimó en el 2012 que las actividades agrícolas son responsables de la emisión del 12% de los GEI a nivel mundial y que de este porcentaje el 22% es Gas Metano (CH₄), un GEI cuatro veces más poderoso que el Dióxido de Carbono.

En este aspecto, es importante mencionar que en el caso del sector agrícola de Brasil se ha conseguido reducir la generación de GEI debido a la utilización de un sistema en el que han sido pioneros: La Labranza Cero. El sistema como su nombre lo indica consiste en no arar el suelo sino en realizar la siembra directa mediante la utilización de maquinaria especial que tritura y corta la materia orgánica de la cosecha anterior. De este modo como puede observarse el sistema de Labranza Cero tiene importantes beneficios ambientales y económicos debido a que consigue disminuir el consumo de combustible fósil y con ello disminuye la utilización de maquinaria agrícola. Por estos motivos el sistema de Labranza Cero ha ido permeando en Brasil hasta

alcanzar el 50% del área agrícola del país destinada a la producción de granos básicos (OECD/FAO, 2015).

Por otra parte, en lo que respecta a la obtención del aceite de soya y su transformación en biodiésel, es importante considerar lo mencionado en párrafos anteriores respecto al proceso industrial para la obtención del biocombustible, que en el caso de Brasil son dos. El primero consiste en la utilización del metanol como catalizador y en este proceso las emisiones de GEI abarcan el 43% de las emisiones totales. En la segunda vía se utiliza el etanol, como catalizador y por ser de origen orgánico aporta únicamente el 20% sobre las emisiones totales. Así, la reducción en la generación de GEI durante la etapa industrial se debe a que a diferencia del resto del mundo, Brasil ha implementado la generación de biodiésel a partir del etanol como catalizador debido a que es un combustible renovable y producido en el país, con lo que se consigue disminuir las emisiones durante el proceso industrial.

Por último, el análisis de DeltaCO₂ y CENA (2013) de GEI durante el transporte es la de menor generación del biodiésel desde la materia prima hasta su destino final en la refinería donde es mezclado con su contraparte fósil. Sobre esta etapa, Brasil es un país de dimensiones continentales y con una red de transportes aun en desarrollo y en el que el medio predominante son los camiones (*The Economist*, 28 de agosto de 2010). Es en este punto en el que la cadena productiva de Brasil puede mejorar para que en un futuro próximo puedan construir biodiésel-ductos similares a los alcoductos utilizados para el transporte del etanol.

El resultado del uso del biodiésel y su relación con la emisión de GEI es el siguiente, de acuerdo con las cifras proporcionadas por el Ministerio del Medio Ambiente, durante los primeros diez años del proyecto de biodiésel en Brasil (2003-2013) se han conseguido evitar o reducir la emisión de 21 millones de toneladas de dióxido de carbono, que equivalen al carbono que captaría una plantación de 158 millones de árboles desarrollados durante 20 años. De esta manera, el análisis de la huella de carbono permite evaluar el desempeño del biodiésel y su relación con las emisiones de GEI, que es una de las cuestiones presentes en la Agenda Global y que Brasil ha destacado por ser una referencia en el desarrollo e implementación de las energías renovables. En este sentido, a pesar del resultado positivo al contrastar las emisiones generadas por el biodiésel, el cual puede mejorarse en la medida en que la soya sea sustituida por otra materia prima con un mayor incremento de rendimiento por hectárea, como la palma macaúba o el piñón mexicano.

2.5.2 Análisis del balance energético del biodiésel

El balance energético es el mejor parámetro internacional para definir la viabilidad técnica y de sostenibilidad para evaluar un programa de bioenergía. Así, podemos definir al balance energético la relación entre la energía consumida y la obtenida, en las distintas etapas del desarrollo del biocombustible, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Balance energético del biodiésel en Brasil

CULTIVO	Mcal/hectárea		Balance Energético
	Entrada	Salida	
Palma de aceite africana	10 200	87 670	1:4.6
Soya	4 967	19 600	1:3.95
Girasol	6 333	15 000	1:2.37
Higuerilla	15 626	28 892	1:1.85

Fuente: Décio Luiz Gazzoni et al (Octubre de 2009). *Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel*. Número 11. Revista Espacio y Energía. Brasil

En lo que respecta a Brasil, Gazzoni *et al* (Octubre de 2008) realizó un comparativo entre los cultivos con dominio tecnológico destinados a la producción de biodiésel. El estudio concluyó que el mejor balance energético es el de la palma africana, 1:4.6; seguido por el de la soya con 1:3.95 y el girasol, con 1:2.37. La predominancia de la palma africana obedece a que se trata de un cultivo perenne mientras que los otros dos son anuales. En este sentido, un caso interesante de comparación es aquel entre la soya, el girasol y la higuerilla. De los tres analizados, la soya es después de la palma de aceite, la materia prima disponible en Brasil con el mejor balance energético pero no es la que más energía produce, es la higuerilla, ni la que obtiene el mayor rendimiento de aceite por hectárea. Así, el buen resultado se debe a que para este cultivo se han desarrollado prácticas y agronómicas que han disminuido la demanda de insumos e incrementado el rendimiento, por ello aunque la soya posee un rendimiento menor por volumen de aceite (20%) que la higuerilla (43%) o el girasol (45%) tiene un mejor balance energético (IICA, 2010).

Finalmente, cabe recalcar que resulta inminente una transición de la producción de biodiésel en Brasil de cultivos de ciclo corto hacia cultivos perennes. En este sentido, los cultivos más promisorios son aquellos descritos anteriormente como la Palma Macaúba, la Palma Babazú y Piñón Mexicano como lo establece el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Los cultivos perennes y el medio ambiente



Fuente: Dieter Oberländer *et Al* (24 de Agosto de 2008). *Acrocomia aculeata: a sustainable oil crop*. Rural 21 The International Journal for Rural Development. Alemania.

En relación a lo establecido por el PNPB, los cultivos perennes cumplen con los tres criterios establecidos en el programa:

- **Viabilidad económica:** La principal ventaja del cultivo es la posibilidad de intercalarlo con otros cultivos. Así, los agricultores tienen la posibilidad de cultivar alimentos y bioenergía, ampliando sus ingresos. También otra ventaja de esta asociación de cultivos es que la higuera es más resistente a las condiciones climáticas por lo que se convierte en una fuente segura de renta económica, sobre todo en las condiciones geográficas del Nordeste brasileño, caracterizado por lluvias escasas y suelos poco fértiles (ONG Reporter Brasil, Abril de 2009).
- **Sostenibilidad ambiental:** Dependiendo de la técnica de cultivo, durante su ciclo productivo la higuera absorbe entre 10 y 20 toneladas de dióxido de carbono atmosférico, convirtiendo al cultivo en un sumidero de carbono (CENBIO, Noviembre de 2008). De igual forma, la parte residual de la extracción de aceite constituye una fuente de biofertilizantes nitrogenados que se pueden utilizar para otros cultivos intensivos en nutrientes, como las hortalizas y los cereales.

- **Inclusión social:** En Brasil el cultivo de la higuera es intensivo en mano de obra, especialmente cuando se siembra con otros cultivos. Esta situación favorece que se cultive por agricultores familiares, permitiendo ser una fuente de trabajo para aquellos pequeños propietarios.

De esta manera, el cultivo de la higuera cumple de una mejor manera los criterios de desarrollo sostenible establecido en el PNPB referentes a la utilización óptima de los recursos locales para producir una fuente de energía sostenible e incluyente. No obstante, el motivo por el cual no ha alcanzado una mayor participación en el PNPB obedece a la baja inversión mientras que el cultivo de la soya ha concentrado enorme esfuerzo de investigación, tanto pública como privada, por ello este cultivo se posiciona como el de mayor importancia para Brasil y constituye la base material del PNPB.

CAPITULO III

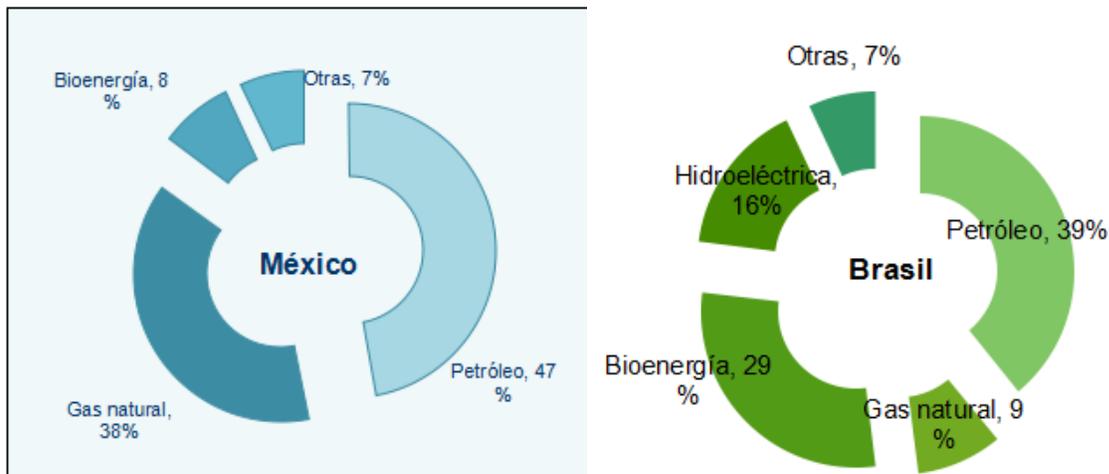
EL BIODIÉSEL EN MEXICO. UNA PROPUESTA DE DESARROLLO RURAL ENERGÍA SOSTENIBLE Y EQUILIBRIO AMBIENTAL

3.1 La política energética de México

Al igual que el resto del mundo, en México el uso y aprovechamiento de la energía está asociado al consumo del petróleo. Esto obedece a que por su historia geológica, el país norteamericano está localizado en una de las mayores cuencas petroleras del planeta: el Golfo de México. No obstante, a pesar de su riqueza energética, el gobierno mexicano no ha realizado una adecuada administración de la misma, la cual es necesaria para ser un puente para el desarrollo sostenible.

La situación en ese sentido es de vulnerabilidad, de orden económica, ya que actualmente el 40% de la población se encuentra en la pobreza, de orden energética, puesto que el 60% de los combustibles consumidos en México son importados (SENER, 2016).

Gráfica 5. Comparativo de la matriz energética de México y Brasil



Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México y Presidencia de la República de Brasil (2003). *Relatorio do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de Óleo Vegetal: Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Brasília.

Al mismo tiempo, en México la matriz energética es contraria a las tendencias globales. Así, en 1970, el petróleo constituía el 46% de la energía primaria a nivel mundial, para el 2010 disminuyó a 40% y para el 2020 se estima que aportará únicamente el 30%. Mientras que, en México aporta el 47% de la energía primaria y los restantes combustibles fósiles, el gas natural y el carbón mineral, tenemos que el 89% de la energía consumida en México proviene de fuentes

no renovables (*Ibidem*). En comparación, Brasil, un país de desarrollo similar, tiene una dependencia menor hacia el petróleo, 39% de su energía primaria y la biomasa constituye la segunda fuente energético con un 29% en mencionado país (Gráfica 5).

Ante la tendencia mundial, México debe de implementar una estrategia de investigación y desarrollo de alternativas energéticas ante el ocaso del petróleo, ya que se trata de un recurso cada vez más escaso, no renovable, con un precio en ascenso y con un impacto ambiental no asimilable por el planeta. La dependencia petrolera mexicana es ilustrativa al compararlo con Brasil, ya que demuestra que México no ha desarrollado alternativas al modelo energético impuesto desde hace más de 100 años, mientras que Brasil es cada vez menos dependiente a la energía fósil. En este contexto, México se encuentra rezagado, situación que contradice la tendencia global y los estatutos del Protocolo de Kioto en materia de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y combate al Cambio Climático.

3.1.1 La reforma energética en México

Ante un escenario de la caída de la principal fuente de energía, el gobierno mexicano ha decidido reformar el sector energético. De este modo, el 20 de diciembre de 2013, el presidente de México, Enrique Peña Nieto promulgó la reforma energética que reforma los artículos 27 y 28 de la Constitución Mexicana para permitir la entrada de la inversión privada en la generación de electricidad, la extracción y refinación de petróleo. Aunque esta iniciativa tiene como objetivo aumentar la oferta energética, no resuelve los problemas estructurales del país, debido que como señala Reyes (2013), México padece dos tipos de dependencia respecto al petróleo:

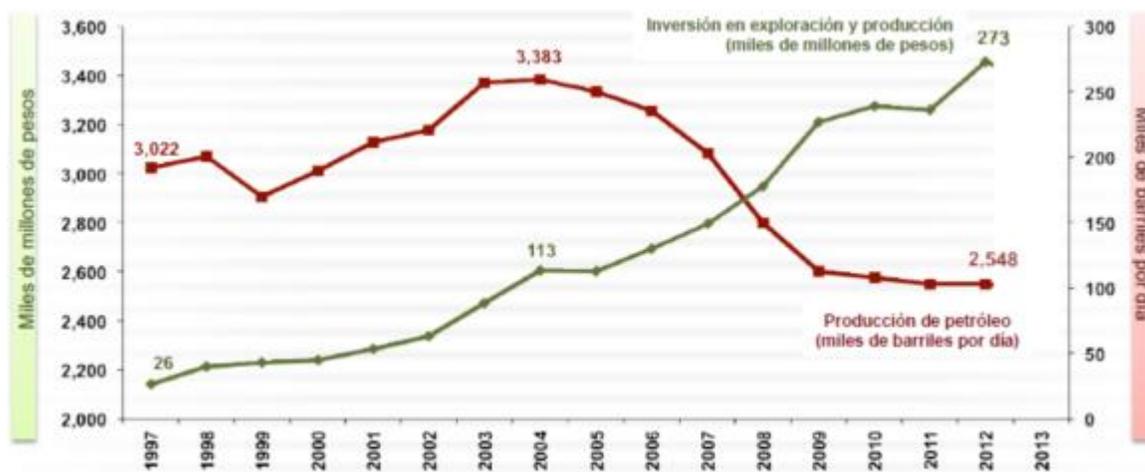
1. **Energética:** 47% de la energía primaria proviene del petróleo.
2. **Fiscal:** 33 % del presupuesto nacional depende de la renta petrolera.

Por consecuencia, la política energética del estado mexicano afronta un desafío en dos vías, por un lado debe de reducir su dependencia energética hacia el petróleo y al mismo tiempo encontrar la manera de reducir su dependencia fiscal ante un escenario de caída en los ingresos petroleros al disminuir la extracción petrolera y descender los precios del petróleo. En este caso nos ocuparemos de mostrar el panorama energético.

El funcionamiento de PEMEX en la última década ilustra claramente la teoría del Pico de Huber, la cual estipula que una vez que un país ha alcanzado su nivel máximo de extracción petrolera, el aumento de inversión no se traduce en un aumento en la cantidad de extracción (Sachs, 2007). Posteriormente viene un descenso en términos de balance energético ya que el

costo de cada barril extraído se incrementa y disminuye el excedente energético (la relación entre la cantidad de energía gastada durante el proceso de extracción petrolera). De esta forma, a pesar de que PEMEX durante el 2012 realizó su mayor inversión por más 273 mil millones de pesos la producción no se ha recuperado y presenta un continuo descenso, al registrar una producción promedio de 2 millones 518 miles de barriles diarios (mdb), como ilustra la siguiente gráfica:

Gráfica 6. Relación entre la producción de petróleo y la inversión destinada a la exploración



Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

Ante este escenario, el gobierno mexicano ha implementado una reforma energética con el objetivo de abrir el sector a la inversión privada. En este sentido, constantemente se ha utilizado el ejemplo de la reforma energética en Brasil para ilustrar que con la reforma energética México extraerá una mayor cantidad de petróleo. Sin embargo, es importante señalar lo siguiente al comparar ambos casos:

- a) **Brasil** ● No había explorado y explotado todas sus cuencas petrolíferas antes del actual auge petrolero sino únicamente había explorado su territorio continental por esta razón la exploración de petróleo se dirigió costa afuera, donde se han encontrado los mayores yacimientos.
- b) **México** ● Explotó de forma no sostenible su mayor campo petrolero, Cantarell (estimado en 40 mil millones de barriles), ubicado mar adentro.

Para contextualizar el segundo punto basta con revisar las cifras de extracción de petróleo en México. En el 2004, PEMEX extrajo la mayor cantidad de petróleo en su historia, un promedio de 3.4 mdb (momento del *Peak Oil*), para el 2012 esta cifra había descendido 2.5 MMbd. Otro aspecto a considerar en el caso mexicano es el constante incremento en el costo de

extracción del barril de petróleo. Mientras que extraer un barril de petróleo en aguas someras (el Campo Cantarell) tiene un costo promedio de 6 dólares/barril, los futuros campos petroleros de PEMEX tendrán un costo de extracción entre 25 y 40 dólares/barril (Tabla 12).

Tabla 12. Pérdida del excedente energético en México

TIPO DE PETRÓLEO	COSTO DE EXTRACCIÓN (Dólares estadounidenses por barril)	PRECIO DE VENTA (Dólares estadounidenses por barril)
Terrestre convencional	4-12	50
Terrestre no convencional	25-35	50
Aguas someras	6-16	50
Aguas profundas	25-40	50
Gas	1.5-3	50

Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

Ante el agotamiento de los yacimientos de petróleo barato, es decir de fácil extracción y de un amplio excedente energético que proporcionó al estado mexicano la renta petrolera, el escenario para PEMEX es explorar hacia yacimientos localizados en aguas profundas. En este sentido, es importante contextualizar que este tipo de yacimientos son conocidos en todo el mundo por su alto grado de riesgo para el medio ambiente por ser susceptibles a derrames, como sucedió en el 2010 con el derrame provocado por la explosión de la plataforma petrolera *Deepwater Horizon* propiedad de *British Petroleum* (Bourne, Octubre de 2007). No obstante, a pesar del riesgo ambiental, la nueva frontera de exploración petrolera mexicana avanza hacia aguas profundas. De este modo, mientras que en el 2007, los mayores descubrimientos petroleros provenían de las cuencas del sureste localizadas a menos de 400 metros de profundidad, para el 2012, los descubrimientos se habían concentrado hacia aguas profundas en un 55% (Pemex, 2013)

Gráfica 7. Montos de inversión de PEMEX durante el periodo 2007-2012 (Miles de millones de pesos)



3t

Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

Esta tendencia nos lleva a la siguiente conclusión. La extracción de petróleo en México es una actividad que en los próximos años tiende a concentrarse en aguas profundas con una pérdida en dos vías para el Estado Mexicano. La primera es una pérdida del excedente energético. Anteriormente, el yacimiento de Cantarell por cada barril extraído originaba un excedente de 6 barriles de petróleo. Sin embargo, la extracción en aguas profundas únicamente tiene un excedente energético de tres barriles por cada barril extraído.

La segunda es de orden fiscal, bajo el nuevo marco legal establecido en la reforma energética, PEMEX tiene que compartir la renta petrolera debido a la pérdida del excedente energético. Por este motivo y ante los requerimientos de inversión necesarios para mantener el nivel de extracción actual el gobierno mexicano ha decidido abrir el sector petrolero a la inversión extranjera. Sin embargo, dado que el petróleo es un recurso no renovable es imposible mantener el excedente energético en el tiempo constante. Por este motivo, no bastará mantener o aumentar el actual nivel de inversión (puede ser pública o privada) pueda mantener el actual nivel de extracción de PEMEX.

Por lo tanto, el actual escenario energético no ofrece para México una alternativa energética de largo plazo ya que se trata de una dependencia total hacia los combustibles fósiles. En este sentido, de mantener esta política de desarrolló, México se aleja de la tendencia mundial en materia de energía, la cual se basa en la diversificación energética y en la disminución de emisiones contaminantes.

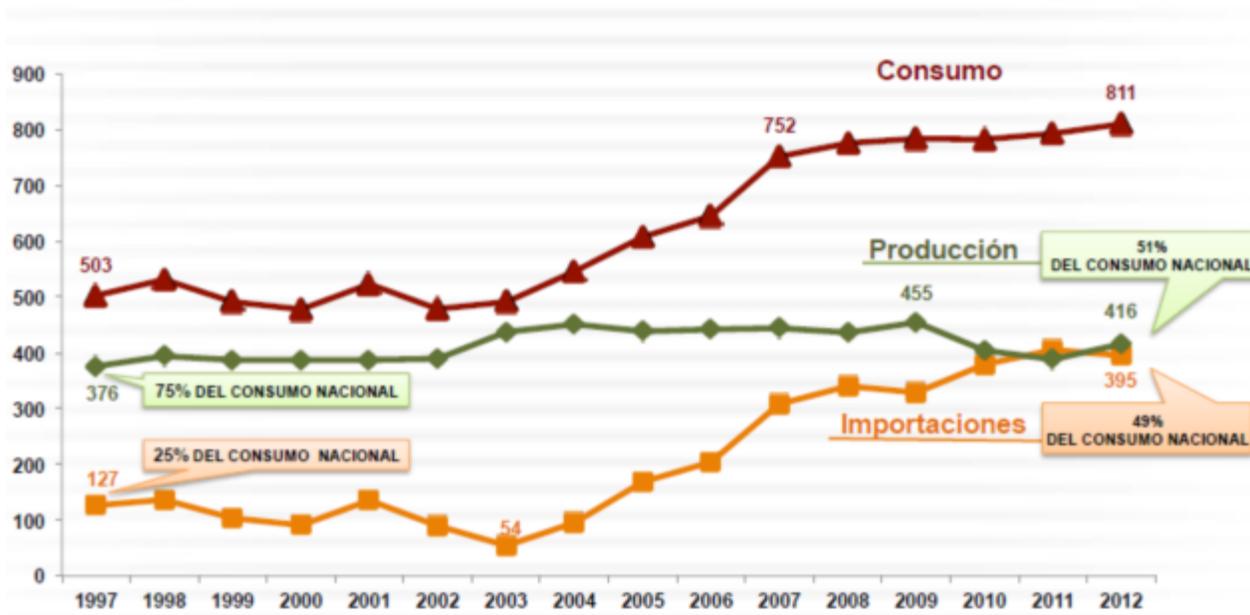
3.1.2 La crisis en el sistema nacional de refinación

En México la producción de derivados de petróleo es ejercida por el Sistema Nacional de Refinación (SNR) de la empresa estatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) En términos históricos, la crisis del SNR comenzó a acentuarse a partir de 1997, cuando las importaciones de gasolina alcanzaron los 127 mil barriles diarios, tendencia que aumento hasta alcanzar su nivel máximo en el 2011, cuando se importaron 400 mil barriles diarios, una cantidad superior a la producción nacional (Reyes, 2013).

Además, la Comisión Nacional de Hidrocarburos declaró en su reporte anual 2013 que del consumo total de derivados de petróleo, aproximadamente el 49% proviene del exterior (Gráfica 8). Esta situación es preocupante para el desarrollo del país debido a que el aumento de las importaciones significa un incremento en la salida de divisas del país, la disminución en el

presupuesto nacional y la inseguridad energética ya que el precio de los derivados del petróleo están ligados al mercado internacional del petróleo.

Gráfica 8. Relación entre la producción, importación y consumo de combustibles derivados del petróleo (Relación porcentual)



Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

Una vez descrito el funcionamiento del Sistema Nacional de Refinación es importante mencionar que México posee un mercado energético peculiar al compararlo con otros países, mientras que en Estados Unidos o los países miembros de la Unión Europea, los energéticos tienen precios de mercado, en México los precios son fijados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) del Gobierno Federal. Esta situación genera distorsiones en el mercado energético que tienen repercusiones negativas, por un lado, estimulan la demanda artificial de los energéticos al disfrazar el precio real y por otra parte, el precio de los combustibles artificialmente conlleva a los consumidores a tomar decisiones que generan una ineficiencia energética, como el elegir un vehículo que consuma mayor combustible en vez de modelos eficientes o preferir utilizar el transporte privado al público.

En el caso mexicano, el precio por litro de la gasolina magna que pagaban los consumidores en el 2013 era de \$12.13 y de diésel era de \$12.49, cuando su precio real, de ambos combustibles es de \$18.00. (Reyes, 2013). Así la diferencia entre el precio fijado por la SHCP y el precio real es cubierto por los ingresos provenientes de las exportaciones petroleras. De tal

manera que de enero a noviembre del 2013 el subsidio a las gasolinas y el diésel sumó 99,951.2 millones de pesos, monto que duplica los 48,895 millones presupuestados originalmente a este rubro para todo 2013 (El Economista, 30 de diciembre de 2013).

Ante el panorama expuesto anteriormente, la caída del excedente energético en la extracción de petróleo en México tiende a afectar aún más el Sistema Nacional de Refinación de PEMEX. En este sentido, es importante mencionar que actualmente, el Estado Mexicano subsidia a través de Pemex Refinación el consumo de gasolina y diésel. De este modo, al analizar los subsidios durante el periodo 2008-2012 se obtiene que el Estado Mexicano ha erogado 619 mil 833 millones de pesos a los consumidores mexicanos en la compra de combustibles (Reyes, 2013).

El resultado de la política mexicana de subsidios ha tenido una repercusión negativa al compararla con otros países. Por ejemplo, en México el consumo per cápita es 397 litros de combustible, situación que no tiene una relación con países de ingreso y desarrollo similar, como Brasil, país donde se consumen anualmente 116 litros de combustible. Por lo tanto, los mexicanos destinan hasta el 3.4% de su ingreso total en combustibles, cantidad superior al que destinan los habitantes de Chile, 2.49% o Brasil, 1.28% (Tabla 13). De esta manera, el precio de la energía afecta negativamente la economía de las familias mexicanas.

Tabla 13. Comparativo internacional de consumo de combustibles

PAIS	CONSUMO PER CÁPITA LITROS	PRECIO POR LITRO	INGRESO PER CAPITA	GASTO ANNUAL	PORCENTAJE DEL INGRESO ANUAL GASTADO EN COMBUSTIBLES
México	397	0.90	10047	357	3.4
Brasil	116	1.39	12594	161	1.28
Chile	196	1.56	12280	306	2.49
Reino Unido	327	2.17	38974	709.59	1.82
Estados Unidos	1108	0.78	49,600	864.24	1.74

Unidos

Fuente: Tépac M. Reyes (2013). *Análisis de los precios y de los subsidios a las gasolinas y el diésel en México, 2007-2013*. LXII Legislatura Cámara de Diputados. México.

De este modo, la aplicación del subsidio ha distorsionado el consumo y aumentado artificialmente la demanda de combustibles fósiles. Esta distorsión tiene los siguientes efectos:

- **Aumenta la ineficiencia energética:** Estimula a los consumidores a la compra de automóviles y en gran medida de vehículos con un bajo rendimiento de combustible. El subsidio genera que los consumidores opten por vehículos de alto consumo, ya que en

México los vehículos pagan impuestos de acuerdo a su valor comercial, mientras que en Brasil, los vehículos pagan impuestos en función del tamaño del motor del vehículo.

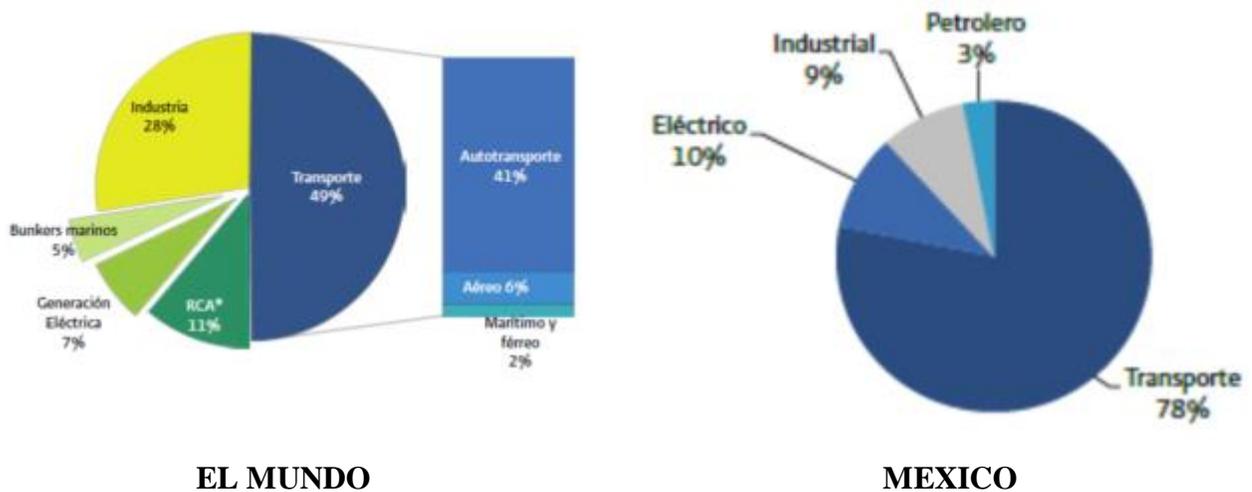
- ***Empeora la contaminación ambiental:*** La infraestructura vial no crece a la misma tasa en la que aumentan los vehículos, dicha incompatibilidad conlleva al tráfico. El aumento en el consumo de energía fósil significa un aumento de emisiones.
- ***Incrementa la desigualdad social:*** El subsidio es regresivo en términos sociales debido que beneficia a las personas que pueden pagar un automóvil, mientras que la mayor parte de los mexicanos se encuentran en la pobreza.
- ***Afecta la balanza comercial:*** Dado que los combustibles están subsidiados el aumento de su consumo repercute negativamente en el endeudamiento público estatal al superar la oferta nacional de combustibles refinados.
- ***Inhibe el desarrollo energías alternativas:*** La distorsión generada por el subsidio gubernamental a los combustibles fósiles afecta el desarrollo de combustibles alternativos debido a que crea un precio artificial de la gasolina y el diésel, esta situación ocasiona que los interesados en invertir en dicha cadena productiva (empresas y agricultores) pierdan el interés.

A modo de conclusión, de este apartado, se puede afirmar que la aplicación del subsidio a los combustibles fósiles ha llevado al Sistema Nacional de Refinación de Petróleos Mexicanos a una crisis de abasto al estimular de forma indirecta el aumento del parque automotriz y con ello el incremento de la demanda de combustibles fósiles. De la misma forma, el incremento en el número de automóviles conlleva a un aumento de emisiones, tanto por tratarse de unidades usadas provenientes del extranjero como por la baja calidad de los combustibles, y con ello se empeora la calidad del aire. Debido a estos factores, el mercado de combustibles mexicano está atrapado en un círculo vicioso dado que el propio gobierno federal quien a través de la política de subsidios quien se encuentra impulsando el consumo de automóviles de baja eficiencia energética. Por lo tanto, México no tiene un volumen de inversión considerable en combustibles alternativos, como si lo hace Brasil, sino que inhibe su utilización mediante una política gubernamental de subsidios a los derivados del petróleo.

3.1.3 El monopolio energético del petróleo en México

Desde finales del siglo XIX, el petróleo sustituyó al carbón mineral como la fuente de energía primaria de mayor utilización en el mundo (Cunningham, Agosto de 2003). Este cambio tuvo como catalizador el desarrollo de los motores de combustión interna, los cuales utilizaron dos combustibles líquidos derivados del petróleo: la gasolina y el diésel. Al igual que el resto del mundo, México no ha sido la excepción y a partir del siglo XX el petróleo se convirtió en la fuente principal de energía. Sin embargo, mientras que a nivel mundial la participación del petróleo como fuente de energía primaria ha sido de solamente el 49% en el 2012, en México la dependencia del sector transporte es del 78% para el mismo periodo de tiempo como lo muestra la Gráfica 9.

Gráfica 9. Consumo de petróleo por sectores en México y el mundo



Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

Esta situación se debe a que el gobierno mexicano no ha implementado estrategias para el desarrollo de combustibles alternativos a los derivados del petróleo mientras que en el resto del mundo sí se han expandido los combustibles alternativos.

En este contexto, al realizar un análisis de mayor profundidad para el caso de México, encontramos que el transporte por carretera absorbe el 91.6% del de la energía requerida por el sector transporte, mientras que las demás formas de transportación, ferroviaria, marítima y aérea, absorben el 8.4% restante (SENER, *Op. Cit*). La explicación a esta concentración obedece a los cambios en la estructura económica de México a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en 1994.

Por lo expuesto anteriormente, la implementación de las industrias maquiladoras, automotriz y electrónica, las regiones del Centro y el Norte del país se aceleró el uso del autotransporte en detrimento del transporte ferroviario. De tal manera que actualmente, el transporte por vías férreas únicamente utiliza el 1.3% y ha sido desplazado del segundo puesto por el aeronáutico, que ocupa 5.8%.

La explicación a este crecimiento del autotransporte en México es un efecto de cadena derivado de la urbanización de la población mexicana y de la ausencia de una política pública que desincentive el uso de este tipo de transporte por la población mexicana. Así, el crecimiento de la población urbana generó una demanda de transporte que fue satisfecha con importaciones de vehículos usados provenientes de Estados Unidos ante la ausencia de una red de transporte público eficiente (Centro Mario Molina, Diciembre de 2005). Para reforzar esta afirmación, la Secretaria de Energía de México afirmó que de los 24 millones de vehículos que circulan diariamente, el 14% son importados y que además tienen una edad promedio de 18 años, mientras que el resto del parque vehicular tiene 13 años de antigüedad (SENER, 2016). Esta combinación de factores tiene su impacto en la demanda de combustibles fósiles a nivel nacional ya que debido a la antigüedad de los vehículos y sus características físicas (Vehículos de gran tamaño) tiene un mayor consumo de combustibles y por ende una mayor generación de contaminantes.

3.1.4 Las limitaciones en el desarrollo combustibles alternativos en México

El sector del transporte en México posee una peculiar estructura de los combustibles utilizados. A diferencia de Brasil, donde el diésel es el combustible de mayor utilización, con una participación del 52.3% (Ministério de Minas e Energia, 2014), en México el combustible de mayor utilización es la gasolina, la cual cubre el 70.1% de la demanda de combustibles líquidos para el autotransporte, seguida por el diésel con un 26% de la demanda anual del sector transporte. Posteriormente y a gran distancia, se encuentra el Gas de Petróleo Licuado (abreviado GLP por sus siglas en inglés) con un 3.10% de la demanda (Reyes, 2013).

El resultado de esta medida es un aumento en el consumo de energía extrasomática global en el país, ya que como se expuso anteriormente un motor diésel tiene la capacidad de ofrecer un mayor rendimiento de combustible que uno de gasolina.

Tabla 14. Políticas públicas en materia de combustibles		
PAÍS	PROBLEMA	POLÍTICA
ARGENTINA	Contaminación del aire y aumento de la demanda	Conversión de vehículos a GLP y Gas Natural.
Brasil	Contaminación del aire, aumento de las importaciones de petrolíferos.	Programa Proalcool, Programa Nacional del Biodiésel.
IRAN	Contaminación del aire y sobre demanda de la gasolina	Programa de conversión de vehículos a gas natural
MEXICO	Contaminación del aire y aumento de importaciones de combustibles	Programa Hoy no Circula

Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México y Presidencia de la República de Brasil (2003). *Relatorio do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de Óleo Vegetal: Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Brasilia.

Además de que, es importante mencionar que México se encuentra alejado de las tendencias mundiales en materia de combustibles automotrices, como lo ilustran los ejemplos mostrados en la Tabla 14 de los países que han diversificado sus combustibles automotores.

Al analizar las relaciones causa-efecto de los países analizados encontramos que el objetivo común es disminuir la dependencia de los combustibles derivados del petróleo utilizados para el transporte: gasolina y diésel. Este objetivo puede deberse a que la producción interna es incapaz de satisfacer la demanda nacional, o como para disminuir la contaminación atmosférica, caso de Brasil, Irán y México. En este sentido es importante mencionar que las metrópolis principales de los países mencionados, Sao Paulo, Teherán y la Ciudad de México padecen una elevada contaminación atmosférica como resultado de un elevado parque automotriz y de sus condiciones geográficas.

Por otra parte, en el caso de México se manifiesta una falta de una política pública dual, tanto para disminuir la dependencia hacia los derivados del petróleo como las emisiones contaminantes. Así, el principal programa, el Hoy no Circula es una estrategia instrumentada por un gobierno local y abarca una limitada superficie, la Ciudad de México y únicamente consiste determinar el día de la semana en que no circulará el automóvil. Ante esta medida, una parte de la ciudadanía, adquirió un segundo vehículo, más barato, con mayor consumo y por ende más contaminante (Centro Mario Molina, *Op.Cit.*).

De este modo ante el fracaso de la política instrumentada en México contrasta con los éxitos alcanzados en Argentina, Brasil e Irán, países con un desarrollo tecnológico similar y con

una población urbana en crecimiento, pero que han desarrollado una infraestructura para la implementación de combustibles alternativos, mientras que en México únicamente se trató de disminuir el número de automóviles sin disminuir la dependencia de los derivados del petróleo al ofrecer a los consumidores mexicanos un combustible alternativo.

3.1.5 Crisis ambiental en las ciudades mexicanas

En los últimos años el parque vehicular ha aumentado a un ritmo acelerado en las ciudades mexicanas. Con base en datos obtenidos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2012) se puede comprobar tal afirmación, así mientras que en 1980, la flota vehicular mexicana ascendía a 5 millones de vehículos, para el 2010 el parque vehicular ascendía a 32 millones, un incremento del 640%. Este nuevo escenario se ha propiciado debido al aumento de la población urbana, a las facilidades a la importación de vehículos usados de los Estados Unidos, la ausencia de una red de transporte público eficiente y las tendencias mundiales de expansión de la industria automotriz mundial.

En este sentido, las consecuencias de esta expansión vehicular han derivado en dos problemáticas ambientales estrechamente vinculadas. La primera es el aumento en el consumo de energía, con ello, se superó la capacidad del sistema nacional de refinación de PEMEX y se recurrió a las importaciones de combustibles. La segunda es que debido al aumento del parque vehicular las ciudades mexicanas padecen constantemente tráfico vehicular, que se ha expandido de las grandes urbes, Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, hacia ciudades medianas, como Puebla, Toluca y Querétaro (Reyes, 2013). Así, el aumento del tráfico genera el aumento en el consumo de la energía, ya que un vehículo en el tráfico continúa consumiendo combustible y por ende genera emisiones contaminantes.

Por ello, se estima que en México 28 millones de personas están expuestas a diario a los problemas de contaminación atmosférica derivados de la combustión de combustibles fósiles (Clean Air Institute, 2013) Dentro de los contaminantes con un mayor nivel de afectación a la salud pública generados por la combustión de combustibles fósiles encontramos: el óxido de nitrógeno, el ozono, el dióxido de azufre y material micro-partícula. Estos contaminantes afectan las vías respiratorias y tienen un impacto negativo en la salud pública. Por esta razón, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico estima que para el 2050, la contaminación del aire será la principal causa de mortalidad prematura en las ciudades del Mundo (OECD/FAO 2013).

Al respecto, cabe mencionar que América Latina es de las regiones más vulnerables del mundo con 100 millones de personas expuestas a niveles de contaminación atmosférica superiores a los recomendados por la Organización Mundial de Salud. Dentro de esta región, los países con mayores problemas de contaminación atmosférica son Brasil y México, los cuales registran 25 mil y 15 mil muertes respectivamente por problemas relacionados con la calidad del aire (Clean Air Institute, *Op. Cit.*).

Ante este escenario el Instituto Nacional de Ecología y el Centro para el Transporte Sustentable recomiendan dos acciones inmediatas. La primera es la oxigenación de los combustibles automotrices y la segunda es la aplicación de normas anticontaminantes más estrictas. En la primera recomendación y con base en las tendencias mundiales, en países como Brasil y Estados Unidos se ha utilizado la mezcla combustibles fósiles y biocombustibles. La razón por la que se utilizan los biocombustibles es que tanto el etanol (mezclado con gasolina), como el biodiésel (mezclado con diésel fósil) tienen un mayor porcentaje de oxígeno en relación a su peso molecular respecto a un combustible fósil equivalente (Pahl, 2008). De esta manera mejoran notablemente la combustión y reducen las emisiones contaminantes, ya que los biocombustibles carecen de azufre y poseen una mayor cantidad oxígeno en su peso molecular, por ello mejoran el proceso de combustión.

A nivel internacional, México no es un productor importante de biocombustibles líquidos, esto se debe en gran medida a que en su territorio se descubrieron en la segunda mitad del siglo XX enormes yacimientos de hidrocarburos, que ha permitido la generación de divisas para la compra en el exterior de combustibles importados. Sin embargo, el uso irracional de una energía no renovable y la baja calidad de los combustibles fósiles ha llevado al país a tener desafíos a nivel ambiental por el aumento de las emisiones contaminantes generadas por la combustión de combustibles fósiles en las ciudades mexicanas.

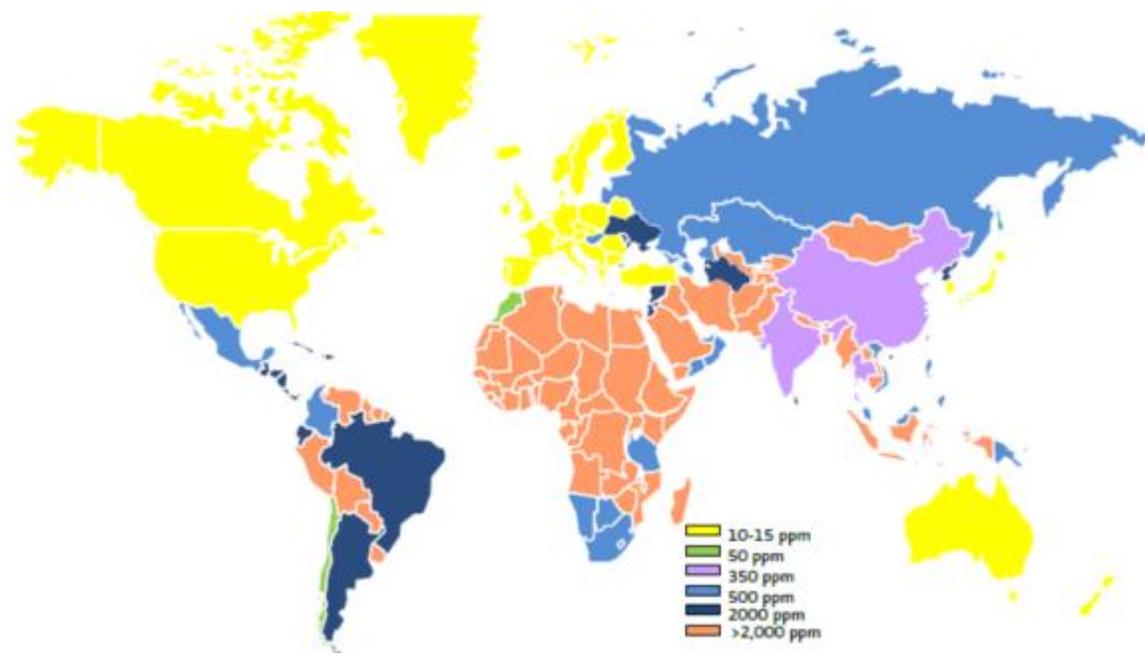
Una de las mayores causas de este problema, es la utilización de un diésel anticuado en relación con sus contrapartes europeas, estadounidenses o japonesas. En este punto, cabe recordar que la calidad del combustible diésel se mide en partículas por millón (ppm), entre menor es el número de ppm en el combustible menor es la emisión de contaminantes. Así, un diésel de 15 ppm, como el expedido en los países europeos permite una reducción de hasta el 90 por ciento de emisiones nocivas para la salud humana y el medio ambiente (REMBIO, 2011).

En contraste, el diésel mexicano contiene actualmente 550 ppm, mientras que en el caso de Alemania cuenta con el combustible diésel de ultra baja azufre más avanzado del mundo con

sólo 10 ppm, obtenido al adicionar un 2% de biodiésel (Mapa 4). Como respuesta a este problema, el 30 de enero del 2006, el gobierno federal expidió la Norma Oficial Mexicana 086, la cual establecía que el diésel vendido a partir de septiembre del mencionado año debería de contener 15 ppm, sin embargo, el esquema normativo distó de la realidad del Sistema Nacional de Refinación de PEMEX, ya que por limitaciones de desarrollo tecnológico, de infraestructura y a la ausencia de un Programa Nacional para la Producción de Biodiésel en México para adicionar el biocombustible al diésel fósil y con ello mejorar su composición química (SENER, 2016).

De esta forma, el efecto inmediato del incumplimiento de la NOM-086 va en perjuicio de los usuarios de combustible diésel, especialmente en el sector transporte, tanto de mercancías como de personas, ya que en México no se venden motores diésel de última generación los cuales tienen un menor consumo de energía y por ende generan menores emisiones de GEI por kilómetro recorrido.

Mapa 4. Calidad del combustible diésel en el mundo



Fuente: REN21 (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. REN21 Secretariat. Francia

Por otra parte, Brasil tiene problemas aún más graves de calidad de combustible diésel con un promedio a nivel nacional de 2000 ppm, cinco veces más azufre que el diésel mexicano. Por este motivo, la contaminación atmosférica es un problema que cada día se incrementa en

Brasil, especialmente en sus megalópolis: Sao Paulo y Rio de Janeiro. En el primer caso, se trata de la ciudad más populosa e industrial de América del Sur, con una población de 19 millones 223 mil habitantes, mientras que Río de Janeiro con una población de 11 millones 571 mil habitantes constituye el segundo polo industrial de Brasil (The Clean Air Institute, *Op. Cit.*). Ambas ciudades comparten también los problemas de contaminación atmosférica, acentuándose en el caso de Sao Paulo debido a su localización geográfica e intensificación de sus actividades económicas.

El panorama descrito anteriormente afecta el desarrollo del transporte público y el de carga, ambos necesarios en el desarrollo nacional, ya que estos dos sectores son los principales usuarios del combustible diésel. Por otra parte, si México tiene como objetivo la eficiencia energética y el diésel es el único combustible que es una alternativa a la gasolina en sectores claves para la economía, por lo que es necesario contar con combustibles de calidad conforme a las tendencias mundiales. Así, al igual que las metrópolis principales de Brasil, la Ciudad de México padece de una severa contaminación atmosférica que incide negativamente en la calidad del aire, pero a diferencia de los países citados, en México no existe un programa nacional para el fomento y utilización de combustibles alternativos para uso automotriz. En este aspecto, se puede calificar como una seria limitante al monopolio del Sistema Nacional de Refinación y la política de subsidios que ha favorecido el uso de la gasolina como principal combustible, al no subsidiar al combustible más eficiente, el diésel.

Por esta razón, para sectores estratégicos y de amplio beneficio social como la agricultura, la industria manufacturera y el transporte, el binomio diésel-biodiésel, son la única fuente de combustible alternativo en México para el desarrollo de sus actividades diarias, ya que no existen incentivos (subsidios, beneficios fiscales) para utilizar el Gas LP o la infraestructura para la implementación del Gas Natural Vehicular como se está promoviendo en Argentina o Irán. De este modo, tanto México como Brasil necesitan modificar sus políticas energéticas en materia de combustibles limpios para disminuir la contaminación de sus megalópolis, por lo que ambos países necesitan que la energía alternativa no provenga de importaciones o genere más emisiones que las que actualmente están en uso.

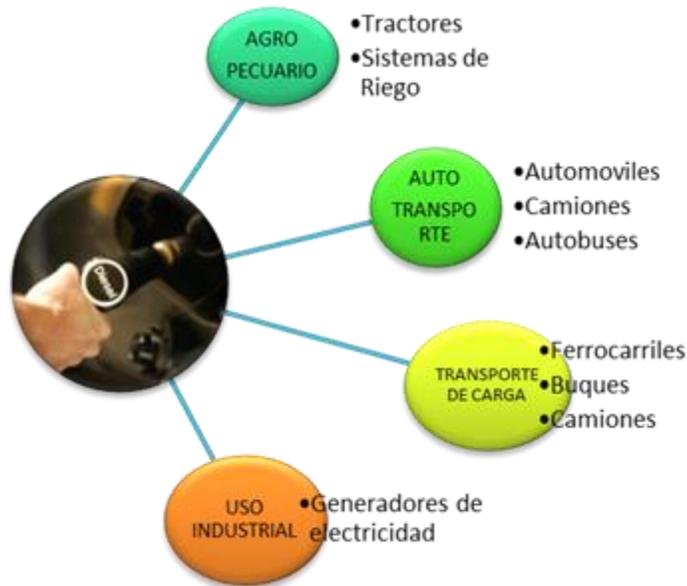
Aunado a la transición energética, es necesario optimizar el uso de la energía, ya que el Planeta Tierra es un sistema cerrado al flujo de materia y los recursos disponibles son limitados, por ende no basta con expandir la oferta energética sino se cuenta con políticas gubernamentales que incentiven el uso eficiente de la energía. Una de ellas es incentivar el uso de transporte público, que utiliza motores diésel de mayor eficiencia energética, que el transporte privado, que utilizan el combustible menos eficiente, la gasolina.

En el mundo contemporáneo, el consumo de petróleo y la actividad económica se encuentran estrechamente relacionados por la utilización de motores de combustión interna para realizar actividades cotidianas como el transporte de mercancías y personas. En este aspecto existen dos tipos: el motor de ciclo Otto, conocido comúnmente como de gasolina y el motor diésel, cuyo combustible es el diésel o gasoil.

En este sentido es conveniente describir brevemente sus ventajas inconvenientes de cada uno. Desde el punto de vista económico, un motor de gasolina es más barato, tanto en costo de adquisición como de operación, mientras que un motor diésel demanda una mayor inversión en ambos casos. Por esta razón, predominan los vehículos de gasolina a nivel mundial. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, como señala Pahl (*Op. Cit.*), un motor diésel obtiene un 30% más de kilómetros por litro que sus contrapartes de gasolina. En este último punto, radica la mayor ventaja de este tipo de motores, tanto por razones ambientales como económicas.

Por lo anterior, los motores diésel han predominado en aquellas regiones donde el precio de los combustibles fósiles es elevado, como en la Unión Europea, Argentina, Brasil y la India (REMBIO, *Op. Cit.*). También, este tipo de motorizaciones han dominado en dos sectores estratégicos de la economía de cualquier país: la agricultura y el transporte. Para ejemplificar, los motores diésel se utilizan en el sector agropecuario como fuente de energía de la maquinaria agrícola y de los sistemas de riego; en la industria como generadores eléctricos; en el transporte de carga; como buques portacontenedores, ferrocarriles y tracto camiones; transporte de pasajeros; en autobuses urbanos y foráneos, y recientemente han comenzado a ofertarse vehículos para uso privado (Figura 9).

Figura 9. Aplicaciones de los motores diésel en México

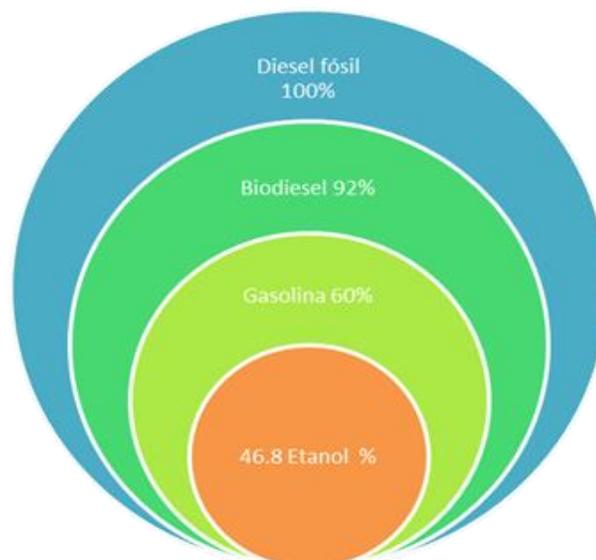


Fuente: Greg Pahl (2008). *Biodiesel: Growing a New Energy Economy*. Chelsea Green Publishing Company. EE.UU.

Bajo este escenario, encontramos que los vehículos diésel son utilizados por sectores estratégicos en la economía del país debido a sus ventajas técnicas, como un menor consumo de combustible respecto a sus pares de gasolina. Por ende, constituyen una herramienta de trabajo importante para la satisfacción de necesidades materiales de la sociedad, ya que tanto contribuyen a la producción de alimentos como a la movilidad urbana.

En este sentido, es importante mencionar la diferencia entre los dos biocombustibles de importancia mundial y su relación con los motores de combustión interna: el biodiésel y el etanol. Mientras que el etanol es un sustituto, mezclado o de forma total a la gasolina, el biodiésel sustituye al diésel. De esta forma, el etanol sustituye a un combustible (la gasolina) destinado a un tipo de motores que son menos eficientes en el uso de energía que sus contraparte de gasolina, por lo tanto para México es de vital importancia estimular el uso del biodiésel como parte de una estrategia de seguridad energética (Figura 10).

Figura 10. Eficiencia de los combustibles fósiles y los biocombustibles



Fuente: IICA (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustible* San José, Costa Rica.

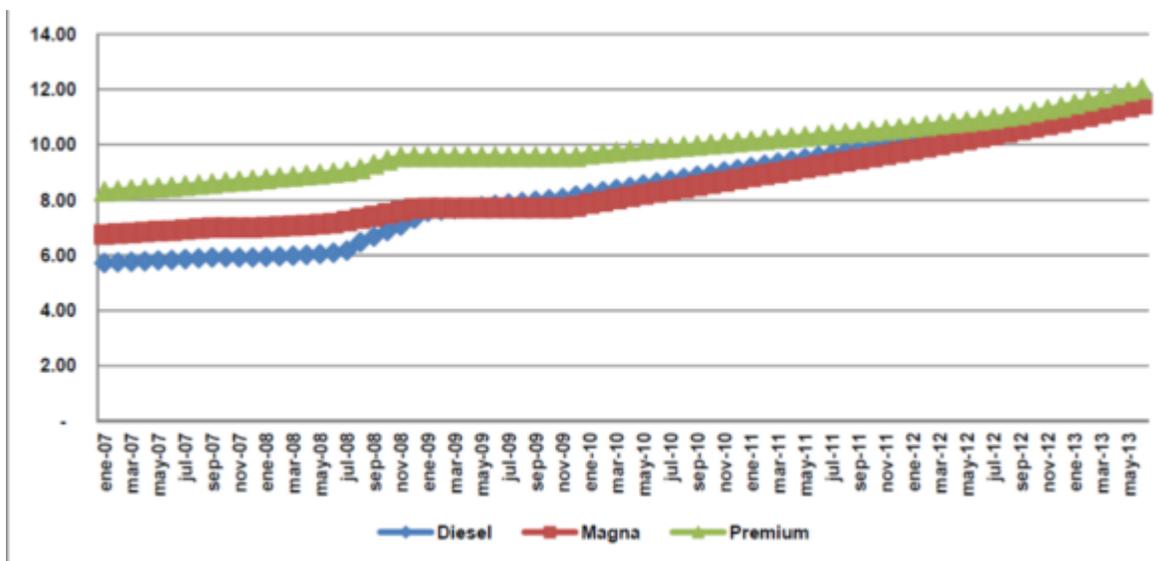
La otra gran diferencia es el carácter estratégico de ambos combustibles, mientras que los motores de gasolina se destinan mayoritariamente al transporte privado, los vehículos diésel predominan en el transporte público y de mercancías, con ello, se manifiesta su importancia al ser claves en la dinámica económica de un país. Por lo tanto, y en concordancia con otras regiones del mundo, como los mismos Estados Unidos de América, China e India, en México los motores diésel registran un incremento en las matriculaciones anuales de vehículos, situación que estuvo alentada en un principio por un precio menor al de la gasolina, política que no ha sido mantenida por la administración federal actual del Lic. Enrique Peña Nieto ni por la anterior administración del ex presidente Felipe Calderón Hinojosa. Sin embargo, a pesar del nulo incentivo de políticas gubernamentales, actualmente el éxito de los motores diésel en México obedece dos razones principalmente:

- a) **El contexto internacional:** En los últimos diez años y a raíz de los acontecimientos sucedidos en el Medio Oriente: Afganistán, Irak y Siria. El precio del barril ha tenido una tendencia inestable en su precio. Por ende, los consumidores de vehículos, tanto de transporte como de uso privado, tienden a buscar combustibles con un mayor rendimiento. En este caso la tendencia global es un mayor uso del diésel por lo que su demanda global se incrementará en los próximos años.

b) **Beneficios económicos y ambientales:** Desde el punto de vista económico, el uso de motores diésel representa un ahorro considerable para los usuarios debido a la mayor eficiencia térmica de dichos motores. Es por esta razón que los motores diésel predominan en el sector de transporte de carga terrestre y el sector agrícola, tanto de México como del Mundo. Actualmente, la tendencia global es el uso creciente de este tipo de motorizaciones en los vehículos de pasajeros. Por otra parte, desde el punto de vista ecológico, debido a su mayor eficiencia térmica un motor diésel tiene un menor consumo de combustible y por ende un menor número de emisiones de dióxido de carbono por kilómetro recorrido.

En relación al éxito reciente de los motores diésel es importante señalar que este se debe a los beneficios intrínsecos (es decir *per se*) del motor diésel y no corresponden a una política energética dictaminada por el gobierno mexicano. Por ello, es importante señalar que ha ocurrido lo contrario, ya que en los últimos años el precio del diésel en México se ha incrementado de manera paulatina tal como lo ilustra la Gráfica 10.

Gráfica 10. Evolución de los precios de la gasolina y el diésel en México(Pesos por litro)



Fuente: Tépatch M. Reyes (2013). *Análisis de los precios y de los subsidios a las gasolinas y el diésel en México, 2007-2013*. LXII Legislatura Cámara de Diputados. México.

Del 2007 al 2013, el precio diésel en México pasó de 5.73 a 11.83 pesos por litro, es decir un incremento superior al 106%, mientras que la demanda se incrementó en un 11% anual. Así, a

diferencia de los países analizados anteriormente, Argentina, Brasil e Irán, el gobierno mexicano tiene una política errada en dos vías:

1. *No ofrece combustibles alternativos en concordancia con las tendencias globales.*
2. *Desincentiva el uso del único combustible alternativo existente a la gasolina en el mercado nacional, el diésel, a través del aumento del precio.*

Por ello, a pesar de que el uso de los motores diésel no cuenta con una política que estimulo su uso, muestran una tendencia al alza como se señaló anteriormente, por ello, México enfrenta problemas para el abasto nacional del energético que se manifiestan en un incremento constante de la importaciones. Así, en el año 2001, las importaciones de diésel ascendieron a 2,406 barriles diarios, para el 2006 alcanzaron las importaciones se habían disparado y alcanzaban los 14,965 barriles al día y para el 2012, las importaciones mexicanas eran de 55,000 barriles diarios, para el 2015, este aumento se había incrementado hasta 147,000 barriles diarios, que en términos porcentuales ya significa el 38% del consumo anual de México (Tabla 15).

Tabla 15. Importaciones de combustible diésel en México

Año	Barriles diarios	Porcentaje del consumo anual																						
2001	2,406	<p>De diésel</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Porcentaje del consumo anual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2006</td><td>12.5</td></tr> <tr><td>2007</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>2008</td><td>16.6</td></tr> <tr><td>2009</td><td>13.7</td></tr> <tr><td>2010</td><td>26.8</td></tr> <tr><td>2011</td><td>34.9</td></tr> <tr><td>2012</td><td>31.8</td></tr> <tr><td>2013</td><td>26.0</td></tr> <tr><td>2014</td><td>32.0</td></tr> <tr><td>2015</td><td>38.0</td></tr> </tbody> </table>	Año	Porcentaje del consumo anual	2006	12.5	2007	13.5	2008	16.6	2009	13.7	2010	26.8	2011	34.9	2012	31.8	2013	26.0	2014	32.0	2015	38.0
Año	Porcentaje del consumo anual																							
2006	12.5																							
2007	13.5																							
2008	16.6																							
2009	13.7																							
2010	26.8																							
2011	34.9																							
2012	31.8																							
2013	26.0																							
2014	32.0																							
2015	38.0																							
2006	14,965																							
2012	55,000																							
2015	147,000																							

Fuente: SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. México

En este contexto, la capacidad de refinación del país es insuficiente para atender la demanda futura del combustible diésel, que se incrementa de manera constante debido a que como se mencionó anteriormente tienen una mejor eficiencia energética que los vehículos a gasolina, y también derivado de la tendencia mundial en el uso de este tipo de motores. Además, una de las variables que está que propiciará tal expansión es el avance tecnológico. Prueba de ello, la Secretaria de Energía de México estimó en su estudio *Prospectivas de Petrolíferos 2016-2026* el consumo medio por vehículos de acuerdo a su categoría, subcompactos, compactos y camiones ligeros, y el tipo de motor, diésel y gasolina (SENER, 2016). En su comparativa de

vehículo compactos equivalentes, la prueba ofreció el motor de gasolina tenía un rendimiento promedio de 9.7 km/l, mientras que un vehículo compacto con motor diésel tiene un rendimiento de 19 km/l. Una eficiencia energética superior al 90%, lo cual se traduce en beneficios económicos y ambientales, ya que un litro de diésel tiene un rendimiento superior a un litro de gasolina.

Por estos factores, la demanda nacional del diésel tiende a incrementarse y ante la incapacidad del Sistema Nacional de Refinación se incrementan las importaciones y con ello se genera el déficit comercial de México. Dentro de las variables que incentivan el uso del diésel en México son las siguientes:

- a) **Precio:** A principios del 2010, el precio del litro del diésel en México era de \$10.50, para el 2013 era de \$11.00, precio superior a la gasolina magna (la más barata de menor calidad expendida por PEMEX).
- b) **Rendimiento:** Un motor diésel tiene un rendimiento de combustible superior al 45% respecto un motor de gasolina. También, los motores diésel no padecen de pérdida de eficiencia ante la altitud y la consecuente pérdida de oxigenación que si afecta los de gasolina debido a que cuentan con una turbina que oxigena el motor de forma artificial.
- c) **Disponibilidad nacional:** A diferencia del Gas LP y el Gas Natural, combustibles alternos a la gasolina, el diésel se vende en todo el país.
- d) **Versatilidad:** Los motores diésel tienen aún mayores aplicaciones que sus pares de gasolina o de Gas LP. Se utilizan en la agricultura, generación eléctrica, transporte marítimo, ferroviario y sobre todo en el sector del transporte de carga y pasajeros.
- e) **Menores emisiones de GEI:** Debido a su mayor rendimiento térmico, los vehículos a pasajeros tienden a tener menores emisiones de bióxido de Carbono por kilómetro recorrido. De este modo, al menos en el Distrito Federal, pueden conseguir un menor cobro de impuestos.

Precisamente, al analizar las variables mencionadas encontramos la siguiente conclusión. A pesar de que en México el precio del litro de diésel ha tenido una tendencia alcista en los últimos años, la demanda del diésel continuará en aumento debido a que por sus características físico-químicas el combustible tiene un mayor rendimiento por el trabajo realizado respecto a sus pares de gasolina y Gas LP. Asimismo, el binomio motor-combustible- diésel es, y debe ser

considerado, un combustible estratégico para el desarrollo económico nacional ya que es la fuerza motriz que mueve los tractores y equipos de riego en el campo, transporta las mercancías por vía marítima, ferroviaria y a través de tracto camiones de la mayor potencia comercial de América Latina.

Además de su importancia en el sector agrícola e industrial, un aspecto que vale considerar es su importancia en la vida urbana. En México los motores diésel son de mayor utilización para el transporte público, por lo que contribuyen directamente a disminuir el uso del transporte individual en las ciudades al brindar un menor precio a los consumidores. Por estas razones, es inexplicable que a nivel federal no exista una política energética diferenciada entre los dos combustibles de mayor consumo, el diésel y la gasolina, para atender la problemática que padece el sector, la cual puede resumirse en tres aspectos:

1. *Estancamiento de la producción nacional del combustible diésel*
2. *Baja calidad del combustible y de los motores ofrecidos en el mercado nacional respecto a los países líderes en el mundo (Alemania, Francia y Estados Unidos)*
3. *Escasos estímulos a la investigación de combustibles alternativos y eficiencia de motores*

Por último, podemos decir que México debe de definir una política clara respecto al uso estratégico del diésel en términos económicos, ambientales y sociales, dado que no es equivalente el subsidio el consumo de gasolina, cuyo consumo es 90% destinado a un uso privado, fundamente destinado al transporte individual, que a un combustible que se utiliza para mover a México.

3.2. El marco legal como catalizador del uso de biocombustibles

En el Plan Nacional de Desarrollo (2012-2018), los biocombustibles forman parte de la Meta Nacional IV: México Próspero. Dicha meta establece en sus objetivos la necesidad de impulsar y orientar un crecimiento verde incluyen y facilitador que preserve el patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo. Dicho en otras palabras, el Plan Nacional de Desarrollo tiene como objetivo el desarrollo sostenible. En otro punto, Objetivo 4.6 del Plan Nacional de Desarrollo, se establece como objetivo abastecer de energía con precios competitivos, calidad y eficiencia a lo largo de la cadena productiva. En este sentido, la bioenergía puede contribuir mediante su uso a al desarrollo y seguridad energética del país.

En igual sentido, los objetivos 4.8 y 4.10, establecen como prioridad el desarrollo de sectores estratégicos del país, dentro de los que se encuentra el sector agropecuario. De este modo, el gobierno federal mexicano reconoce en su instrumento de planeación de mayor relevancia a la energía renovable y a la agricultura como entes necesarios para el desarrollo nacional, aunque no explica cómo vincularlos para alcanzar tal objetivo.

3.2.1. La Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos

En México la generación de la energía a partir de la biomasa está sustentada en La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos promulgada por el ex Presidente Felipe Calderón Hinojosa el 1 de febrero de 2008. La ley tiene como objetivo principal la promoción y desarrollo de los Bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sostenible como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano. En cuanto a los objetivos secundarios, se encuentran los siguientes:

- 1- Promover la producción de insumo para bioenergéticos*
- 2- Fomentar la comercialización y uso de los bioenergéticos*
- 3- Promover el desarrollo regional y el de las comunidades menos favorecidas.*
- 4- Procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera*
- 5- Coordinar las acciones entre el gobierno federal, los de los Estados y Municipios.*
- 6- Promover la participación del sector social y privado*

En términos concretos, México cuenta con un instrumento legal para la promoción y uso de los biocombustibles como una fuente de energía renovable. Asimismo, los biocombustibles son una herramienta estratégica para fomentar el desarrollo de regiones rurales actualmente deprimidas por la carencia de empleo pero con alto potencial para el desarrollo de cultivos bioenergéticos.

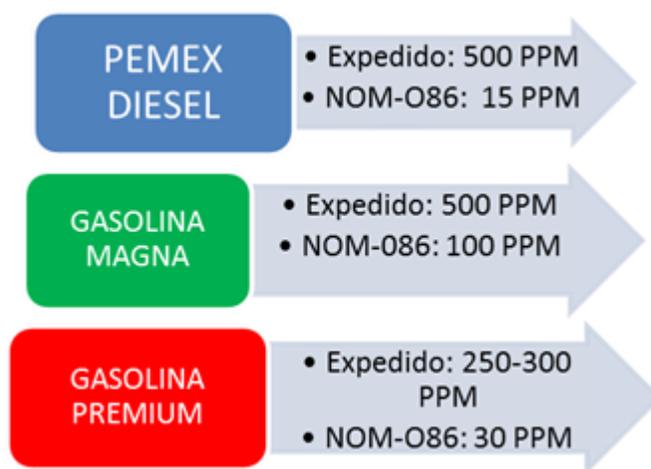
3.2.2. La Norma Oficial Mexicana-086: catalizador para los combustibles alternativos

Una de las deudas pendientes del gobierno federal mexicano con los ciudadanos es el cumplimiento de la NOM-086, expedida con el objetivo establecer las especificaciones sobre protección ambiental que deben de cumplir los combustibles líquidos ofrecidos en México (REMBIO, 2011).

En forma específica, la NOM-086 establece los lineamientos para reducir el contenido de azufre en los siguientes combustibles: gasolina Magna, gasolina Premium y Pemex diésel. Como antecedente histórico, es importante señalar que la ley surge debido al incremento registrada en las enfermedades respiratorias en las ciudades mexicanas, principalmente en la Ciudad de México a partir de 1993, ya que se estimó que la variable causal son las emisiones de óxido de azufre y las micropartículas presentes en los combustibles fósiles de baja calidad (*Clean Air Institute*, 2013).

De este modo, el contenido de azufre del diésel vendido en México debe descender de los actuales 500 partes por millón (ppm) hasta las hasta las 15 ppm de azufre conforme a lo establecido por la NOM-086 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparativo de las partículas por millón de azufre en los combustibles vendidos en México



Fuente: Centro Mario Molina (Diciembre 2005). *Evaluación costo beneficio de la mejora en la calidad de los combustibles automotrices en el país.* México.

En este contexto, la NOM-086 fue promulgada en el 2006 y estableció como fecha límite que en Enero de 2009 el Sistema Nacional de Refinación de PEMEX debía de abastecer a todo el país con combustibles de bajo contenido de azufre. Sin embargo, la realidad ha sido otra, debido al estancamiento tecnológico y falta de inversiones, las refinerías mexicanas no han podido cumplir con los requerimientos de la NOM-086. Por esta razón, para cumplir con lo establecido en la ley el gobierno federal tiene tres opciones:

1. *Modernizar a las refinería que componen el Sistema Nacional de Refinación*
2. *Recurrir a importaciones*

3. Producir combustibles alternativos

Ante este panorama, el gobierno ha optado por la vía más rápida y fácil, aumentar las importaciones de combustibles de bajo azufre en detrimento de la balanza comercial y del desarrollo tecnológico del país. Asimismo, el incumplimiento de la NOM-086, ha estancado la introducción de motores avanzados de tecnología diésel que generan un mayor rendimiento de combustible y una menor cantidad de GEI y partículas nocivas. De esta forma, ya que los motores diésel son necesarios para el transporte público y de mercancías se ha afectado la salud pública y la economía familiar. En este contexto, la baja calidad del diésel expedido en México genera elevados problemas de salud anualmente debido a que las emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles son la principal fuente de contaminación del aire en las grandes ciudades mexicanas y se encuentran por encima del estándar permitido por la Organización Mundial de Salud (The Clean Air Institute, 2013). En este sentido, una de las alternativas para disminuir la contaminación por azufre y las emisiones de dióxido de carbono es el uso del diésel. En el caso del primer contaminante, el biodiésel es un compuesto libre de azufre y las emisiones de dióxido de carbono disminuyen al 80% respecto al diésel de origen fósil (Tabla 16).

Tabla 16. Comparativo del biodiésel y el diésel mineral

Propiedades	Biodiésel (<i>J. curcas</i>)	Diesel	Norma de Estados Unidos	Norma de Unión Europea
Densidad de gramos por mililitro (30°C)	0.88	0.85	---	>0.8
Punto de combustión (en °C)	192	55	130 minutos	>55
Viscosidad cinemática a 15°C	4.84	2-8	6 (máximo)	5
Potencial calorífico en milijoules por kilogramos	41	45	---	No definido
Número de cetano	52	47.5	47 minutos	>48
Contenido de ésteres (en porcentaje)	>99	0	---	>99
Contenido de azufre (en porcentaje)	0	<0.5	0.0015 (máximo)	<0.55
Carbón residual	0.024	<0.35	0.050 (máximo)	<0.1

Fuente: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015). *Usos de Biodiesel no Brasil e no Mundo* – 1ª Edição. Relatório apresentado à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel em junho de 2015. MAPA. Brasil.

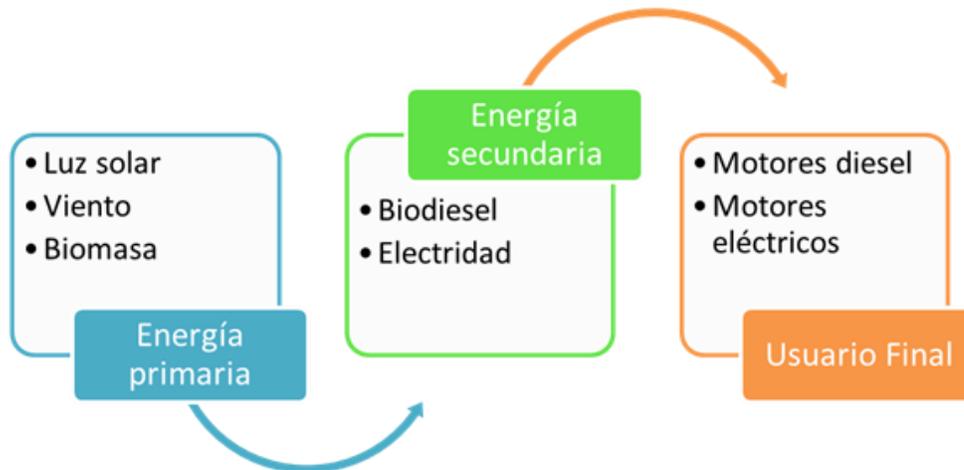
3.2.3. El papel del biodiésel en el transporte sostenible en las ciudades mexicanas

A lo largo de la historia humana, el movimiento de personas y materias primas ha sido una constante el uso de distintas formas de transporte, trátase de barcos de vela o ferrocarriles de vapor movidos por el carbón mineral, y en ese espacio de tiempo, sucedió una revolución tecnológica en los siglos XIX y XX con la invención de los motores de combustión interna. No obstante, a pesar de los beneficios sociales, el uso de estos inventos aumentó el uso de los combustibles fósiles y con ello el incremento global de las emisiones de GEI. Por esta razón, el transporte, tanto de personas como de mercancías, demanda de una paulatina transformación hacia su sostenibilidad en su variante energética.

En este escenario, México tiene dos vías para la seguridad energética del combustible de mayor utilización en el sector transporte y agrícola. La primera alternativa es la generación de biocombustibles mediante el aprovechamiento indirecto de la energía solar a través de la energía de la biomasa. En este caso, debido a que el transporte en México se basa en el uso de motores diésel en sus distintas modalidades: ferrocarriles, tractocamiones de carga y autobuses de pasajeros se tiene una opción en el biodiésel debido a que tiene propiedades fisicoquímicas similares a su contraparte fósil por lo que no requiere de cambios tecnológicos en los motores actuales (Rodrigues, 2006).

La otra alternativa sostenible al transporte es el cambio en la fuente de energía. En este caso la ruta a seguir es la utilización de un sistema de transporte basado en la electricidad. No obstante, la aplicación de esta vía tiene limitaciones debido a que en México la generación de electricidad aun proviene de combustibles fósiles y todavía no existen vehículos con autonomía suficiente para el transporte de mercancías o de personas basados en este tipo de energía, únicamente se han desarrollado e implementado autobuses eléctricos con éxito en el transporte público en áreas urbanas, como el Corredor Cero Emisiones de la Ciudad de México. Por este motivo, la transición energética en el corto y mediano plazo en el sector transporte está ligado al desarrollo de un combustible renovable alternativo al diésel fósil, mientras que la vía eléctrica puede considerarse como una opción a largo plazo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Alternativas sustentables para el transporte



Fuente: REN21 (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. REN21 Secretariat. Francia

Por otra parte, el cumplimiento de la NOM-086 exige que el diésel disminuya su nivel de azufre e incremente el oxígeno con el objetivo de disminuir sus emisiones y contribuir a la mejor de la calidad del aire en ciudades altamente contaminadas, como la Ciudad de México. En este sentido, dicha ciudad ha implementado un programa extenso de transporte público, con una parte importante basado en sistemas de Autobuses de Transito Rápido, conocidos por sus siglas en inglés *Bus Rapid Transit*. Este novedoso sistema de transporte, denominado localmente como Metrobus, por su rapidez y gran capacidad de transporte de pasajeros, utiliza motores diésel de alta tecnología proveniente de Suecia y Alemania.

Debido a su complejidad tecnológica, el gobierno de la Ciudad de México exhortó a PEMEX para que le proporcionara combustible diésel de bajo contenido de azufre, tal como lo establece la NOM-086, para cumplir tal petición, PEMEX recurrió a la importación de dicho combustible. En el caso expuesto es conveniente mencionar que de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos una de las alternativas tecnológicas para disminuir el nivel de azufre en el diésel fósil es la adición de biodiésel a un nivel de máximo del 20% sin que exista un riesgo para el motor, por lo que la utilización del biodiésel tiene un impacto positivo en la reducción de GEI y de las importaciones de combustibles fósiles, con ello se realiza una contribución al esfuerzo global de reducción de emisiones y se mejora localmente los ingresos de los pobladores rurales.

3.3 El cambio climático y sus efectos en la generación de la energía y la agricultura

La humanidad puede ser vista como una población de individuos altamente organizada para la satisfacción de sus necesidades mediante la transformación de los ecosistemas planetarios pero con el inconveniente de generación de residuos no asimilables en el corto plazo, dentro de los que destaca el incremento de la generación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En México, el sector energético es el mayor generador GEI con una aportación del 67.3%, y de esta cantidad, el sector transporte contribuye con el 22.2%. El segundo sector con mayor generación de emisiones contaminantes es la agricultura, con una aportación del 12.3% (SENER, 2016). La participación de la agricultura se debe principalmente al uso de prácticas agrícolas que degradan el suelo. En lo que respecta al tipo de emisión, al igual que el resto del mundo, el bióxido de carbono es la principal fuente 65.9%, seguido por el metano con el 22.3% y el óxido nitroso con el 9.2% (*Ibidem*). De este modo, ambos sectores: energía y agricultura comparten responsabilidad en las emisiones de GEI y de ahí la importancia de una estrategia mitigación basada en la integración de ambos sectores. Por este motivo, la bioenergía utilizada de forma sostenible es una oportunidad para la mitigación de emisiones.

3.3.1 Mitigación de Gases de Efecto Invernadero mediante el uso del biodiésel

México depende casi exclusivamente del petróleo para satisfacer su consumo de energía primaria y dicha dependencia se agrava en el sector transporte, el cual 98% depende de los derivados del petróleo: gasolina, diésel y Gas LP (REMBIO, 2011).

Ante el panorama descrito, una alternativa utilizada a nivel internacional, en países como Estados Unidos y Brasil, para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovable es la mezcla con biocombustibles de los derivados del petróleo. El caso de la gasolina, es de más amplia difusión y su utiliza de la siguiente manera. El combustible fósil se mezcla con el etanol, el cual actúa como un aditivo oxigenante que le brinda al combustible una mayor facilidad para su combustión (IICA, 2007). Sobre este tema, es conveniente señalar que la cantidad de oxígeno en el aire disminuye conforme se incrementa la altitud, por este motivo los motores pierden su eficiencia en la Ciudad de México, ubicada a más de 2,400 metros sobre el nivel del mar, por lo que el uso de oxigenantes como el etanol es necesario para aumentar el nivel de oxígeno en el peso molecular del combustible fósil (Clean Air Institute, 2013).

En el caso del biodiésel, su mezcla con el diésel de origen fósil, conlleva a una reducción en las emisiones contaminantes. Otra ventaja, es que mediante la mezcla tiene la ventaja de no llevar a una modificación técnica para cumplir con el marco jurídico federal establecido en la NOM-086, la cual establece especificaciones sobre protección ambiental que deben de cumplir los combustibles líquidos ofrecidos en México y que hasta el momento no se han implementado, situación que ha llevado a una contingencia ambiental constante en la Ciudad de México y su área metropolitana.

3.3.2 Las ventajas ambientales para la utilización del biodiésel en México

Una diferencia entre los combustibles fósiles y los biocombustibles es su balance de emisiones. En el primer caso, durante el proceso de combustión de la gasolina, el diésel y el gas natural se generan GEI, principalmente dióxido de carbono, los cuales antes de ser extraídos estaban almacenados durante millones de años en el subsuelo. Puesto que los biocombustibles contienen únicamente el carbono que capturan en cada ciclo de vida la materia prima de donde provienen. Así, las plantas capturan el bióxido de carbono presente en la atmósfera mediante la fotosíntesis y generan un proceso de crecimiento estructural y de materia prima para los biocombustibles en forma de azúcares y lípidos.

Por lo tanto, la bioenergía depende para su producción de la radiación solar y por ello, tanto Brasil como México poseen ventajas por su localización geográfica para la producción de biocombustibles respecto a otros países. En este sentido, la capacidad de absorción de carbono va a depender del cultivo y de la técnica agronómica que se emplea. Por ejemplo, para la producción del biodiésel, el piñón mexicano (*Jatropha curcas*) y la higuera (*Ricinus communis*) son los cultivos con una mayor mitigación GEI, debido a que para su desarrollo necesitan del dióxido de carbono presente en el aire y lo transforman en raíces, tallos, hojas y semillas que son utilizadas para la producción de biodiésel, mientras que otros cultivos, como la soya, tiene un menor nivel de mitigación de GEI debido a que es necesario plantarlos anualmente (IICA, 2007).

Por ello, la mezcla de biodiésel en el diésel mineral contribuye al mejoramiento en el proceso de combustión debido a que contiene un mayor volumen de oxígeno que su contraparte fósil. De esta manera, un estudio realizado por la Agencia para la Protección Ambiental de California sobre la relación del biodiésel y su relación con las emisiones de GEI (Tabla 17) demostró que existe un efecto positivo en la reducción de contaminantes, que en el caso del

monóxido de carbono es hasta del 67% y del material particulado del 47%, por lo que recomienda su uso en aquellas ciudades con una alta contaminación, como en el caso de la Ciudad de México y la ciudad brasileña de Sao Paulo.

Tabla 17. El biodiésel y su relación con la reducción de GEI

Tipo de emisiones	B100	B20	B2
Hidrocarburos no quemados	-67%	-20%	-2,20%
Monóxido de carbono	-48%	-12%	-1,30%
Material particulado	-47%	-12%	-1,30%
Óxidos de nitrógeno	+10%	+2%	+2%

Fuente: REN21 (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. REN21 Secretariat. Francia

Además de la reducción de emisiones, la utilización del biodiésel conlleva las siguientes ventajas:

1. *Reduce la dependencia hacia los combustibles fósiles y en el caso de México y Brasil puede contribuir a la reducción de importaciones energéticas.*
2. *Promueven el desarrollo tecnológico del país al incentivar la investigación en cada una de sus cadenas productivas.*
3. *Estimula la economía del medio rural al aumentar la demanda de materia prima.*
4. *Generación de empleos en diversos sectores: agricultura, industria y servicios.*
5. *Contribuyen a la disminución de los GEI.*

Así, los biocombustibles pueden significar ventajas ambientales en la reducción de emisiones de GEI, aseguramiento del suministro energético y empoderamiento de la población rural en función del sistema de producción del que se obtenga la materia prima.

3.4 La inserción de la bioenergía en la política agrícola en México

La política agrícola de México ha sufrido una profunda transformación en las últimas dos décadas como resultado de las políticas de corte liberal implementadas en el país. En este sentido, la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y el ingreso de México a la Organización Mundial de Comercio han trazado el camino para la liberación total del sector agrícola mexicano. Ante este contexto, ha habido agricultores ganadores y perdedores. En el

primer caso se encuentran los agricultores que han orientado su producción hacia los agronegocios de exportación, con productos como hortalizas o frutales, generalmente ocupan grandes extensiones, tienen acceso a subsidios e infraestructura de riego. En el segundo caso se encuentran los agricultores dedicados a la siembra de la maíz y el frijol para autoconsumo, con un sistema de producción basado en la milpa, no cuentan con tecnología de riego y ni acceso al crédito público. A grandes rasgos, este es el panorama del sector rural en México.

3.4.1 La crisis agrícola de México desde un contexto histórico

Desde un enfoque socio-histórico, en México la agricultura forma parte de la identidad nacional, el arraigo y la influencia de la población rural ha marcado la historia contemporánea del país. La prueba de esta relación es la Revolución Mexicana de 1910, la cual tiene como uno de sus fundamentos la demanda popular del reparto agrario. Posteriormente, después del triunfo y consolidación de la Revolución, México se convirtió en un país a la vanguardia en temas agrícolas al iniciar la reforma agraria mediante la consolidación de El Ejido, como una figura jurídica de propiedad colectiva de la tierra. Así, México pasó de ser un país donde los latifundios acaparaban 94% de la tierra a uno en el que la propiedad colectiva abarca el 54% de la superficie agrícola (FAO, 2000).

Este régimen de propiedad prevaleció en el país desde su promulgación en la Constitución de 1917 hasta la reforma constitucional del artículo 27 de la misma ley en 1992, la consistió en la privatización de los ejidos (tierras de propiedad social), desmantelamiento de las instituciones de crédito rural y empresas paraestatales que regulaban los precios de garantía. Es menester señalar que la desestatización de la agricultura es parte de las políticas de liberación comercial implementadas en México desde 1982 y que se materializan con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte firmado por Canadá, Estados Unidos y México en 1994 (SENER, 2016). En este sentido, a partir de este acontecimiento, México la crisis agrícola se manifiesta por los siguientes hechos:

- ***Déficit en granos básicos:*** La importación de maíz ascendió a 9.8 millones de toneladas, cifra que representa el 35% del consumo nacional. En el trigo la dependencia externa es aún mayor, ya que alcanza el 38% y para el caso del arroz, México importa el 83% de su consumo anual .

- ***Emigración rural:*** A partir de la implementación de las reformas estructurales en el TLCAN, han emigrado 10 millones de mexicanos hacia Estados Unidos, la mayor parte habitantes del campo. .
- ***Procesos de degradación del capital natural:*** La caída de los rendimientos agrícolas se ha acelerado como consecuencia de prácticas agrícolas inadecuadas, uso de agroquímicos y predominio de los monocultivos. Asimismo, el cambio climático está afectando a la agricultura mexicana con pérdidas por sequías e inundaciones.

Ante el escenario descrito y con referencia en el marco conceptual sobre seguridad alimentaria establecido por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura que estipula que un país tiene que ser capaz de producir el 75% de los alimentos que consume para alcanzar la seguridad alimentaria, se puede afirmar que México presenta un fenómeno inverso. Al retomar el ejemplo de la caída de la producción de cereales básicos es necesario convertir las áreas agrícolas de los monocultivos a los policultivos, pero para alcanzar un equilibrio entre las actividades es necesario impulsar la demanda de productos agrícolas vía el mercado interno. En ese sentido, es particularmente relevante estudiar y entender mejor la dinámica laboral de dicho sector, en el que viven y trabajan alrededor de una cuarta parte tanto de la población total como de la económicamente activa del país.

En este contexto, una de los indicadores que evidencian el fracaso de la política agrícola neoliberal son las tasas de pobreza en México. Sobre este punto, la CEPAL (Octubre de 2016) estimó que el 55% de la población rural mexicana padecía pobreza patrimonial y un 20% de los hogares rurales no cubrían sus necesidades alimentarias básicas. En este sentido, si los niveles de pobreza no han continuado aumentando es debido al envío de remesas provenientes de Estados Unidos, las cuales se incrementaban a medida que lo hacía el número de campesinos emigrados, a tal grado que las remesas internacionales aportan el 11% de los ingresos de la economía rural mexicana.

Por ello, población rural mexicana demanda de una estrategia socialmente incluyente que pueda ofrecer los ingresos necesarios para satisfacer sus necesidades materiales y sociales que no puede ser resuelta con los modelos tradicionales de producción agrícola sino que debe de ser una estrategia innovadora. De este modo, la crisis agrícola de México es una realidad innegable y se puede afirmar mediante el análisis realizado a tres variables: la balanza comercial deficitaria, la pérdida de población rural y el deterioro ambiental del entorno rural. De esta forma, en México

existe una grave contradicción al despilfarrar los ingresos de la exportación de petróleo crudo para importar alimentos y combustibles industrializados.

3.4.2 La reorientación de la política agrícola en México

A finales de 1982, con la implementación de políticas de corte neoliberal, el campo mexicano comenzó a enfrentar una situación adversa en distintas aristas: crisis económica, caída de los rendimientos agrícolas, aumento de los fenómenos meteorológicos y éxodo rural. En este orden cronológico, en 1994, Canadá, Estados Unidos y México firman el Tratado de Libre comercio de América del Norte, el cual en su ámbito agrícola estableció la supresión de aranceles para granos básicos y productos cárnicos. De este modo, la firma del TLCAN significó la ruptura entre el Estado Mexicano y los campesinos.

El abandono del Estado Mexicano en la agricultura se manifiesta mediante la reducción de las ayudas gubernamentales al sector. Así, mientras que a principios del 2000, México destinaba el 1.25% del PIB al sector primario para el año 2012 había descendido hasta el 0.7% OCDE/FAO (2013). Aunado al descenso en términos cuantitativos, la distribución social de los subsidios en México es altamente desigual, por ejemplo, la CEPAL (Octubre de 2016) señala que el 10% de los agricultores mexicanos absorben el 90% de los subsidios destinados al sector y geográficamente se localizan en la región Centro-Norte de México.

Una vez expuesto el panorama de la situación del sector rural en México es necesario plantear alternativas para salir del atolladero social en que se encuentra. De esta forma, el sector agrícola necesita de una reforma en sus estructuras que abarque los siguientes aspectos:

Tabla 18. Alternativas para la producción agrícola en México	
Estrategia	Instrumentos
1. Policultivo	Estudios de Dr. David Pimentel demostraron en 1974 que el monocultivo de maíz en los Estados Unidos era menos eficientes que el sistema de policultivo de milpa (maíz y frijol) de México, debido a que el primero era intensivo en insumos derivados de combustibles fósiles mientras que el segundo era intensivo recursos renovables como el abono orgánico y la luz solar.
2. Agricultura baja en carbono	La agricultura moderna es intensiva en generación de GEI en dos vía. La primera está basada en tres insumos intensivos en el uso de energía fósil: Maquinaria, fertilizantes y agroquímicos. La segunda es que las técnicas de labranza remueven el carbono presente en el suelo. Ante esta situación es necesario utilizar técnicas agrícolas tales como la Cero Labranza y la utilización de cultivos perennes
3. Manejo Ecológico	Las actividades agrícolas deben de basarse en el manejo integral de los recursos renovables. En este punto es necesario promover el uso de biofertilizantes, remineralización de suelos y manejo hidrológico del agua de lluvia.

4. Multiproducto

La producción agrícola debe transformarse en dos vías. La primera es pasar del monocultivo al policultivo y la segunda es de la producción de alimentos, bioenergéticos y fijación de carbono-

Fuente: Joan Martínez Alier y Jordi Roca Jusmet (2001). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. 2da. Edición. México y David Pimentel (1993). *Economics and energetics of organic and conventional farming*. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, vol. 6, n° 1, PNUMA. Nueva York.

México es un país dotado de una riqueza biológica extraordinaria derivado de una situación geográfica peculiar, el país tiene influencia de dos océanos y es la zona de transición entre dos zonas biogeográficas: Neártica y Neotropical. Esta ubicación ha propiciado una amplia variedad de ecosistemas donde se han implementado desde el inicio de los asentamientos humanos los agrosistemas (IICA, 2010). Por ello, México es el centro de diversidad biológica de cultivos de talla de importancia mundial para la alimentación humana, como el maíz y de cultivos promisorios para la bioenergía, como el caso del piñón mexicano.

Por las peculiaridades anteriormente mencionadas, en México, a diferencia de otros países, es difícil utilizar un solo modelo de producción agrícola debido a la variedad geográfica del territorio, la cual determina la existencia de diversos agrosistemas diferenciados entre sí por condiciones climáticas, de altitud y edafológicas que propician una amplia variedad productiva de materias primas diversas, tanto alimentos como insumos industriales.

3.4.3 Limitaciones en el uso de la bioenergía

En este sentido, la bioenergía requiere para su producción de actividades agrícolas, silvícolas o pecuarias. Así, la bioenergía se define como aquella fuente de energía renovable obtenida de la materia orgánica con un proceso de degradación reciente, que incluye un amplio abanico de materiales como madera, frutos, semillas o fibras (REMBIO, 2011). A partir de estas fuentes se extrae la energía contenida en tales materiales, mediante su uso directo o mediante un proceso de transformación bioquímica que los convierte en carbón vegetal, biogás, bioetanol o biodiésel. Así, por su versatilidad, la bioenergía ha alcanzado un amplio desarrollo en los últimos años a nivel mundial.

Por otra parte, tal como se ha demostrado anteriormente, el panorama energético de México es de alta vulnerabilidad y es altamente dependiente de los mercados externos, tanto para cubrir sus importaciones como para la obtención de divisas mediante la venta de petróleo crudo. En este sentido, la bioenergía puede ser perjudicial o benéfica para el desarrollo sostenible en sus tres aristas: ecológica, económica o social. Por ende uno de los puntos más cuestionados del uso

de la bioenergía es la utilización de cultivos alimenticios como insumos para la producción de biocombustibles. En este aspecto, la cadena productiva de biocombustibles, al igual que la petroquímica, es de tipo multiproducto y esta situación es necesaria para alcanzar su viabilidad económica. Otra parte debatible de los biocombustibles es su vinculación a los procesos de deforestación, en este aspecto el Centro Internacional de Investigaciones Forestales realizó un estudio global para determinar tal relación (Maserá *et al*, 2006). Las conclusiones del estudio son que no existe una relación directa entre la producción de los biocombustibles y la deforestación sino que la causa principal es la expansión de la ganadería y en menor medida la producción de alimentos para la exportación.

Precisamente, una de las limitaciones para el desarrollo de la bioenergía es su impacto ambiental y su relación con la extracción de recursos naturales donde se implementa. Sobre este tema, los investigadores Martínez y Jusmet (2001) sobre las plantaciones bioenergéticas sostienen que de desarrollarse un esquema de producción de corte extractivo los efectos a nivel regional son devastadores en las tres aristas del desarrollo sostenible:

- **Ambiental:** Una producción basada en el monocultivo y la utilización de cultivos intensivos en agroquímicos y agua conlleva a un aumento neto de emisiones de GEI.
- **Social:** La utilización de monocultivos genera un nivel de empleo mínimo y genera el desplazamiento de productores con pequeñas superficies vía arrendamiento o por compra venta de sus propiedades.
- **Económica:** La producción de bioenergéticos a partir de monocultivos tiende a concentrar el ingreso agrícola ya que los productores de gran escala tienen mejor acceso a los esquemas de crédito y de mercado.

De esta forma, la sostenibilidad o insostenibilidad del biodiésel va a depender en gran medida del sistema de producción elegido y para ello es necesario respetar el lineamiento establecido por el marco legal vigente en México, ya que en caso contrario la producción de biodiésel puede conllevar a efectos negativos para la sociedad y los ecosistemas.

3.4.4 La bioenergía como una salida a la crisis agrícola del campo mexicano

Ante el panorama expuesto, en México las ventanas de oportunidad para la producción de bioenergéticos se encuentran en aquellas superficies de tierra degradada por las actividades agrícolas y pecuarias, cuya superficie se estima en 123 millones de hectáreas, equivalentes al

63% (UACH, 2011). En este escenario, los investigadores de la Red Mexicana de Bioenergía estimaron que el 23% de la demanda actual de las gasolinas puede suplirse mediante el establecimiento de 2.3 millones de hectáreas de caña en pastizales degradados y baja productividad ganadera (REMBIO 2011).

En este orden de ideas, el Dr. Omar Masera Ceruti (*Op.Cit.*) sostiene que la producción de etanol en México se puede impulsar a partir de los residuos de la refinación del azúcar. En este caso, México exporta anualmente 1 millón 400 mil toneladas de melaza a un bajo costo para su uso como pienso para la industria pecuaria de los Estados Unidos, con esa materia prima se puede producir 400 millones de litros de etanol, dicha cantidad es dos veces superior a lo requerido por el Programa Nacional de Bioenergéticos (SENER, 2016). Así, resulta que en México la no utilización de formas avanzadas de bioenergía obedece más al mantenimiento del *status quo* energético que a las limitaciones en materia prima o a los posibles efectos en la deforestación y al desplazamiento de tierras agrícolas con cultivos alimenticios. Para el caso del biodiésel el panorama potencial es aún más alentador debido que las materias primas alternativas necesarias para su producción demandan menos agua y requerimientos nutricionales que las materias primas utilizadas para la generación de etanol.

Ante el agotamiento de los combustibles fósiles, es oportuno desarrollar alternativas energéticas de largo plazo basadas en la bioenergía para el desarrollo sostenible de México. En este sentido, es menester recordar que la expansión de los biocombustibles obedece a que son una fuente de energía compatible o asimilable con los motores de combustión interna, tanto para los que funcionan con gasolina como los motores diésel. Así, existe dos binomios asociados de biocombustibles: etanol-gasolina y diésel fósil-biodiésel.

Por otra parte, es importante mencionar que para el caso de los biocombustibles líquidos (etanol y biodiésel) no es posible seguir el camino tomado por los mayores productores mundiales, como Estados Unidos y Brasil, debido dos factores de suma importancia. El primero es que México no es un país excedentario granos, como el maíz y soya, materia prima para la elaboración de tales biocombustibles, considerados por los expertos en bioenergía como biocombustibles de primera generación (Gazzoni et Al, Octubre de 2009). Además de las características peculiares de la estructura del sector rural en México que no permiten la aplicación de la agricultura industrial, altamente intensiva en maquinaria e insumos industriales como si sucede en Brasil o Estados Unidos. No obstante, cabe recordar que en el caso mexicano la

bioenergía ha sido subutilizada y se ha concentrado su utilización en formas básicas, con una baja aplicación tecnológica y con un alto grado de ineficiencia.

Por lo tanto, la bioenergía en México se reduce a su utilización como fuente de calor para la coacción de alimentos y para industrias locales como ladrilleras o panaderías sin que haya avanzado para un aprovechamiento más amplio y con beneficios económicos, sociales y ambientales.

3.5 El biodiésel sostenible: oportunidades y desafíos para México

Los biocombustibles líquidos se han expandido como una alternativa a los combustibles derivados del petróleo, diésel y gasolina, de mayor utilización en el mundo y con aplicación final en distintos artefactos mecánicos dotados de un motor de combustión interna, desde automóviles hasta buques mercantes. Así, la expansión global de los biocombustibles se debe a su versatilidad y compatibilidad con el sistema predominante en el transporte mundial. Sin embargo, la expansión y uso de los biocombustibles ha generado controversias debido a los siguientes efectos negativos en la fabricación de los mismos:

Tabla 19. Inconvenientes en la producción de los biocombustibles

1) Aumento de la demanda de tierra agrícola:	Ocurre cuando la expansión de cultivos bioenergéticos desplaza a los cultivos alimenticios de aquellas tierras agrícolas de mejor calidad.
2) Incremento de precios alimenticios	Sucede cuando un cultivo destinado a fines comestibles es desviado para la fabricación de biocombustibles, aumentando la demanda e impulsando el precio del mismo.
3) Impacto ambiental	La utilización de un sistema de agricultura industrial (intensiva en maquinaria, fertilizantes y agroquímicos) incrementa los niveles de contaminación en el suelo, cuerpos de agua y conlleva a la pérdida de la biodiversidad. Además de que en función del cultivo utilizado, la demanda de agua se incrementa.
4) Concentración del ingreso	La producción de cultivos de gran escala conlleva a la concentración de ingresos en el medio rural al desplazar a los productores menos favorecidos con el sistema político-económico.

Fuente: Jose Rincón Ferreira *et al* (2006). *O futuro do Biodiesel*. MDIC. Brasil.

Estos efectos negativos han generado que se debata acerca de la insostenibilidad de los biocombustibles, por este motivo, se ha propuesto clasificar a los biocombustibles por generaciones de la siguiente manera (IICA, 2010):

- a) **Primera generación:** Son aquellos que para su generación se utilizan materias primas tradicionales, generalmente destinadas al consumo alimenticio pecuario o animal. Ejemplo de ello es el etanol obtenido del maíz y el biodiésel de soya.
- b) **Segunda generación:** Son aquellos biocombustibles que proceden de cultivos no alimenticios y que pueden tener mejor indicadores medioambientales. En el caso del biodiésel, los cultivos de mayor importancia son la higuera (*Ricinus communis*) y el piñón mexicano (*Jatropha curcas*).
- c) **Tercera generación:** Cultivos diseñados genéticamente para la producción de biocombustibles. Destacan las algas y bacterias.

Cabe apuntar que actualmente existe una transición de la primera a la segunda generación, por ejemplo, Brasil ha puesto en marcha el etanol de segunda generación a partir del bagazo de caña y en el caso del biodiésel, *Petrobras* ha patentado un nuevo proceso para producir biodiésel denominado *H-Bio*. Así, la principal diferencia entre las generaciones es que los biocombustibles de primera generación utilizan cultivos de ciclo corto, tales como la canola y la soya en el caso de Alemania, Estados Unidos y Brasil, los cultivos de segunda generación de tipo anual o perenne, de porte arbustivo, como el piñón mexicano.

De esta forma, la mayor desventaja de los biocombustibles de primera generación es que para obtener elevados rendimientos requieren de un uso intensivo de maquinaria agrícola, fertilizantes y agroquímicos, los cuales para su producción y utilización requieren de combustibles fósiles. Esta particularidad origina que el cultivo de la canola y la soya tengan un bajo rendimiento energético. Por este motivo, para el caso del biodiésel de segunda generación se utilizan materias primas que no provengan de una fuente alimenticia, que tengan una mitigación de GEI y que no sean intensivos en el uso de contaminantes y combustibles fósiles. En este sentido, tanto México como Brasil tienen como ventaja comparativa respecto a Estados Unidos o Alemania su posición geográfica, la cual les permite que sus territorios sean más propicios para la producción de cultivos perennes.

3.5.1 Dos modelos de producción sostenible de biodiésel en México

Anteriormente se ha descrito que uno de los obstáculos para la producción de biodiésel y para considerarlo como una fuente de energía sostenible es el sistema de producción del cual deriva. En este sentido, Masera (*Op. Cit.*) delineó los siguientes parámetros básicos para su sostenibilidad:

- *Deben contribuir al desarrollo económico rural*
- *Generar empleos e ingresos dignos*
- *No aumentar la demanda de recursos naturales socialmente sensibles, como agua y tierras agrícolas*
- *Contribuir a la reducción de emisiones de GEI.*

Ante tales limitaciones es fácil suponer que la bioenergía es una opción no sostenible, por este motivo, en los párrafos siguientes se presentan dos modelos agroecológicos para producir biodiésel de una manera sostenible.

3.5.2 La Higuierilla (*Ricinus communis*): Una fuente de biodiésel polivalente

La higuierilla (*Ricinus communis*) representa una de las mejores opciones para la producción de biodiésel debido a la riqueza genética y sus cualidades agronómicas. En este sentido, la higuierilla es una planta originaria de África, cuya expansión en México ocurrió en el siglo XVI con la colonización española quienes la introdujeron como planta medicinal y para la producción de aceite (Vavilov, 1992). Por este motivo, la higuierilla se ha adaptado a la mayor parte del territorio nacional y con ello se han desarrollado variedades adaptadas a las distintas regiones agroecológicas del país. De tal forma que actualmente el INIFAP ha identificado y seleccionado 16 variedades para conformar un banco de germoplasma, con este esfuerzo en investigación, México se convierte en uno de los países con mayor diversidad a nivel mundial del cultivo bioenergético (López *et al.*, 2011).

Una de las grandes ventajas de la higuierilla y razón por la que es parte medular del Programa Nacional de Brasil es que se trata de un cultivo intensivo en mano de obra no en capital (maquinaria-agroquímicos-combustibles fósiles), no requiere de elevada tecnología ni de agroquímicos, mientras que la soya, otro de los cultivos utilizados en Brasil como materia prima

para la producción de biodiésel, es intensivo en el uso de maquinaria, agroquímicos y demanda una menor cantidad de mano de obra por hectárea (CENBIO, Noviembre de 2008).

Particularmente, México cuenta con una amplia tradición en el cultivo de la higuierilla y estuvo dentro de los grandes países productores de la higuierilla hasta los años ochenta, posteriormente la producción de la oleaginosa comenzó a descender al caer la demanda mundial de la oleaginosa debido a la sustitución del aceite de higuierilla por derivados del petróleo. No obstante, el aumento del precio del petróleo desde el 2003 ha propiciado nuevamente la expansión del cultivo a escala mundial, con India, Brasil y China como los mayores productores (IICA, 2010).

La higuierilla es una oleaginosa que pertenece a la familia de las *Euphorbiaceae*, y tiene como centro de origen el Continente Africano, concretamente en la península de Abisinia (Reed, 1976). A nivel mundial, México es uno de los países con una mayor agrobiodiversidad de planeta, ya que se encuentra distribuida en un 80% del territorio del país y a los distintos pisos térmicos, desde el nivel de mar hasta 2,300 msnm de altitud y con precipitaciones desde 400 a 3000 milímetros anuales (mma) su rendimiento potencial que va de los 600 kg/ha, variedades criollas a más de kg/ha de las variedades mejoradas, con un contenido de aceite del 36% al 56%. (Rico *et al.*, 2011). Otro aspecto interesante para la producción sostenible de bioenergía es en el cultivo de higuierilla pueden realizarse hasta 3 cortes por año y durante 5 años por lo que se le considera una especie perenne, por ende disminuye la utilización de maquinaria agrícola y demanda una mayor utilización de empleo agrícola.

Tabla 20. Requerimientos agronómicos de la higuierilla en México

Variable	Potencial productivo		
	Alto	Medio	Bajo
Temperatura media anual	15-30 °C	15-19 °C 30-35 °C	< 15°C >35°C
Precipitación anual	400-1000 mm	1000-1500 mm	<400 mm >1500 mm
Altitud	0- 1,800 msnm	1,800-2,500 msnm	>2,500 msnm
Textura de suelos	Media Gruesa	Media Gruesa	Fina
Uso de suelo	Uso agrícola	Uso agrícola	Uso agrícola
Suelos	Regosoles	Cambisoles y feozems	Vertisoles, litosoles y rendzinas

Fuente: Alfredo González Ávila, *et al.* (2011). *Guía para cultivar Higuierilla (Ricinus communis L.) en Jalisco*. Folleto Técnico Núm.1 INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Para su desarrollo agroecológico, la higuera requiere de una temperatura entre los 15 y 35° y de una precipitación mínima de 400 mm anuales y una máxima de 1500 mm anuales, su piso térmico máximo observado en México es desde los 0 hasta los 2300 msnm (Tabla 20). En este sentido, el INIFAP ha realizado la integración del Sistema de Información Geográfica para estimar el área potencia en términos cualitativos y cuantitativos de la higuera. A partir de este estudio se ha llegado a la conclusión de que en México existe un total de más de 10 millones de hectáreas para dicho cultivos, de esta cantidad el 40% se consideran con un alto potencial de establecimiento del cultivo (González *et al.*, 2011). La parte restante, 6 millones de hectáreas, el INIFAP considera como zonas de potencial medio debido a que son suelos que han tenido una mayor degradación del suelo. En el escenario potencial expuesto anteriormente, la higuera es una de las plantas con mayor potencial en México para la producción de biodiésel. En este sentido, en México se cuenta con experiencia en el desarrollo de este cultivo, por lo que el cultivo de la higuera tiene las siguientes ventajas:

- *Posee una amplia variedad genética adaptada a distintas partes del país, de tal forma que de acuerdo con el INIFAP se han colectado 379 variedades. En este contexto, puede crecer desde los 0 msnm hasta los 2 500 msnm.*
- *Es un cultivo anual, de corte perenne y de rápido crecimiento*
- *Posee un alto potencial de rendimiento por área cultivada y en términos porcentuales tiene un alto contenido de aceite.*
- *Es un cultivo que una mayor intensidad en mano de obra que de maquinaria por lo que es altamente compatible con la agricultura familiar.*

También, la higuera ha registrado un elevado rendimiento en campos experimentales ubicados en distintas partes del país. En el caso del Estado de Guanajuato y Jalisco el incremento del rendimiento obedece una mayor densidad en la siembra, ya que este caso se han realizado siembras de hasta 10, 000 plantas por hectáreas y un rendimiento de 5,700 y 5,092 kilogramos, respectivamente (Tabla 21). Mientras que en el caso del Estado de Chiapas con una densidad de siembra de 2,500 plantas se obtiene un rendimiento de 1,998 kilogramos por hectárea.

Tabla 21. Mayores rendimientos de higuera en México	
ESTADO	RENDIMIENTO (Kg/Ha)
Guanajuato	5700
Jalisco	4364
Yucatán	2714
Chiapas	1930

Fuente: Lexi Levivi López Ángel *et al.* (2011). *Balace energético del cultivo de higuera (Ricinus communis L.) para la producción de biodiesel*. Folleto Técnico Num.15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México.

Así, aunque México no es un país relevante a escala mundial en el cultivo de la higuera posee dos factores que diferencian de mencionados países. A diferencia de China e India, México posee una mayor superficie para la expansión del cultivo y para el caso de Brasil, debido a la diversidad edafológica, en México se obtienen mayores rendimientos. Así, mientras que en Brasil los rendimientos agrícolas no han superado los 900 kilogramos por hectárea, en México se ha registrado los mayores rendimientos a nivel mundial.

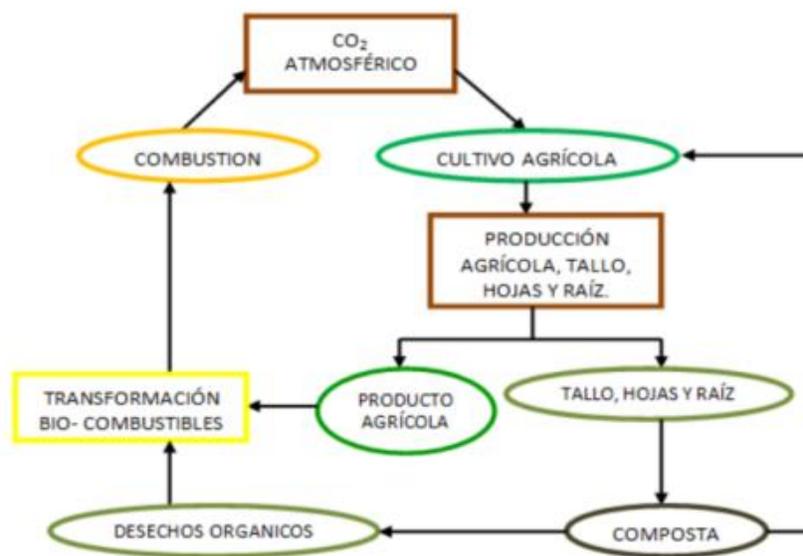
De esta manera, la variedad genética y la diversidad de agrosistemas son determinantes para explicar el elevado rendimiento de la higuera en comparación con los países líderes en su producción a escala mundial. Una de las razones por la que la higuera puede alcanzar ese rendimiento elevado se debe a que a diferencia de la soja, se trata de un cultivo perenne al que se le pueden dar hasta 3 cortes anuales y pueden vivir por más de 10 años, mientras que otras oleaginosas utilizadas actualmente para la producción de biodiesel, como la soja utilizada en Brasil o la colza usada en Alemania se deben de sembrar anualmente, con ello, los costos de producción se incrementan mientras que con la higuera disminuyen en el largo plazo.

3.5.2.1 El balance energético del biodiesel de higuera

El balance de energía se basa principalmente en La Primera Ley de la Termodinámica, la cual señala que la energía no puede ser creada ni destruida, únicamente se transforma (Martínez Alier, 1995).

En este sentido, el estudio de balance de energía se empezó a realizar en la década de los setentas, cuando comenzó a producirse el etanol a gran escala como sustituto de la gasolina en Estados Unidos. En términos simples, el balance energético consiste en determinar cuanta energía fósil se requirió para producir la energía renovable (Cuadro 9).

Cuadro 9. Diagrama del balance energético



Fuente: Décio Luiz Gazzoni et al (Octubre de 2009). *Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel*. Número 11. Revista Espaço y Energía. Brasil

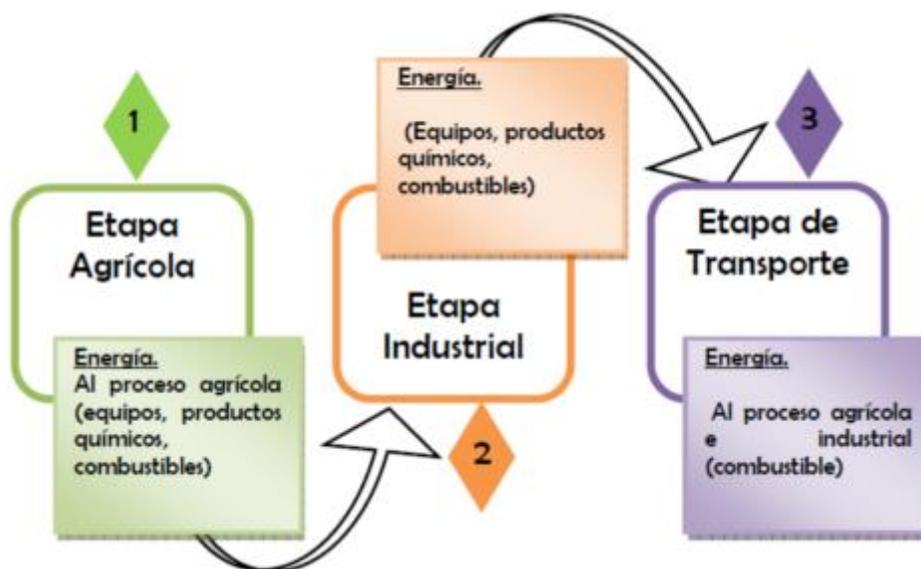
Si existe un balance energético positivo se determina que el insumo es un sustituto adecuado de los derivados de combustibles porque para su producción se requirió de menor energía fósil. Para el desarrollo de los biocombustibles es indispensable contar con un balance energético positivo. Sólo de esta forma, el desarrollo de una industria de biocombustibles puede coadyuvar a la disminución de las importaciones de combustibles fósiles y con ello contribuye al desarrollo local y a la seguridad energética.

El modelo de balance energético involucra un esquema de entradas y salidas. En el primer aspecto, considera como entradas directas el consumo de energía como el combustible utilizado por la maquinaria agrícola utilizada para la preparación y siembra del cultivo. También, en caso de utilizar riego se contabiliza la energía necesaria para realizar tal actividad, trátase de electricidad, gasolina o diésel. Asimismo, en el análisis se considera el consumo indirecto de energía, como el costo energético de la producción de fertilizantes y agroquímicos. En el otro extremo del análisis se integra la energía generada por el cultivo bioenergético. En este caso se

genera energía directa en forma de biocombustibles e indirecta en forma de productos derivados como la glicerina, los biofertilizantes o la pasta proteínica.

A partir de la comparación entre los datos de entrada y salida se determina se determina que si el balance energético es mayor a uno, es positivo, si es menor a uno entonces el biocombustible no se podría considerar como una fuente sostenible de energía. Así, en este apartado es posible analizar el ciclo del biodiésel a partir de tres etapas, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Etapas del balance energético del biodiésel



Fuente: Décio Luiz Gazzoni et al (Octubre de 2009). *Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel*. Número 11. Revista Espaço y Energía. Brasil

De este modo, la primera etapa es la agrícola, en ella se analiza el consumo de energía fósil para la maquinaria, la energía necesaria para la producción de herbicidas, de semillas seleccionadas (Cuadro 10). La segunda es la etapa industrial en la cual considera los insumos necesarios para la producción de biodiésel, así como la energía eléctrica necesaria para realizar dicho proceso de transformación. La tercera etapa es la del transporte y consiste en evaluar el costo energético del transporte durante la etapa agrícola y hacia la planta en la que se realizará el procesamiento hasta el almacenamiento del biocombustible.

En este sentido, la higuera como insumo para la producción de biodiésel en México tiene el siguiente potencial, considerando únicamente las superficies de alto y medio potencial, aproximadamente 3, 959,682 hectáreas (equivalentes al 1.98 % del territorio nacional), se puede obtener una producción anual estimada de 5,543 millones de litros de biodiésel, equivalente

31.8% del consumo anual de diésel fósil, estimado en 17,410 millones de litros (SENER, 2016). En términos geográficos, el cultivo de la higuierilla en México puede dividirse en dos ecorregiones:

- **Trópico húmedo:** Abarca la llanura costera del Golfo de México (desde el sur de Tamaulipas hasta Yucatán).
- **Trópico seco:** Abarca desde las llanuras costeras del Pacífico, en el Estado de Chiapas hasta Sinaloa.

En el primer caso, el balance energético de la higuierilla en condiciones de trópico húmedo arrojó el siguiente resultado. El modelo utilizado fue un sistema de producción de monocultivo en condiciones de temporal y sin el uso de fertilizantes. En este sistema se realizó una siembra de 2,900 plantas por hectárea, con las entradas de energía solar y agua pluvial se obtuvo un rendimiento de 2 toneladas por hectárea (López *et al*, 2011). Al analizar este sistema de producción encontramos que por cada unidad de energía fósil invertido se obtienen 3.75 unidades de bioenergía, por lo que el sistema es energéticamente sostenible al tener un balance superior a las tres unidades de energía positiva (Tabla 22).

Tabla 22. Balance energético de la higuierilla en condiciones de trópico húmedo

ETAPA AGRÍCOLA		RELACIÓN ENERGÉTICA
INSUMO	GASTO ENERGÉTICO (MJ ha ⁻¹)	
DIESEL	3070	1: 3.75
ACEITE	89	
HERBICIDA	65	
SEMILLA	145	
GASTO TOTAL	3369	
ETAPA DE TRASPORTE		
INSUMO	GASTO ENERGÉTICO (MJ ha ⁻¹)	
GASOLINA	1560	
DIESEL	250	
GASTO TOTAL	1810	
ETAPA INDUSTRIAL		
GASTO ENERGÉTICO	2641	
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA	APORTACIÓN DE ENERGÍA (MJ ha ⁻¹)	
BIODIESEL	29331	

Fuente: Lexi Levivi López Ángel *et al.* (2011). *Balance energético del cultivo de higuierilla (Ricinus communis L.) para la producción de biodiesel*. Folleto Técnico Num.15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México.

Para el caso de los Estados Trópico Seco se obtuvo un resultado superior, ya que el balance energético ha resultado que por cada unidad de energía fósil se obtiene 4.39 unidades de bioenergía. El aumento de rendimiento con respecto al trópico húmedo obedece a que debido a las características agronómicas de la planta de higuerilla tienen una mayor producción en condiciones de baja disponibilidad de agua, un mayor número de nutrientes en el suelo y una elevada exposición solar. Por estos motivos, la producción de higuerilla pasa de un balance energético de 3.75 en el Trópico Húmedo a 4.39 en condiciones del Trópico Seco (Tabla 23).

Tabla 23. Balance energético de la higuerilla en condiciones de trópico seco

ETAPA AGRÍCOLA		RELACIÓN ENERGÉTICA
INSUMO	GASTO ENERGÉTICO (MJ ha ⁻¹)	
DIESEL	1898	1: 4.39
ACEITE	48	
HERBICIDA	131	
FERTILIZANTE	3830	
SEMILLA	55	
GASTO TOTAL	5962	
ETAPA DE TRASPORTE		
INSUMO	GASTO ENERGÉTICO (MJ ha ⁻¹)	
GASOLINA	3000	
DIESEL	500	
GASTO TOTAL	3500	
ETAPA INDUSTRIAL		
GASTO ENERGÉTICO	3901	
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA	APORTACIÓN DE ENERGÍA (MJ ha ⁻¹)	
BIODIESEL	58662	

Fuente: Lexi Levivi López Ángel *et al.* (2011). *Balance energético del cultivo de higuerilla (Ricinus communis L.) para la producción de biodiesel*. Folleto Técnico Num.15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México.

Sin embargo, a pesar de la sostenibilidad del modelo de producción de higuerilla, en el trópico húmedo de México este se puede mejorar al aplicar un modelo agroecológico y de productos de bajo impacto ambiental. Así, en adición al balance energético se puede comentar que es posible aumentar la eficiencia en el cultivo de la higuerilla al sustituir parte de los insumos intensivos en energías fósiles por otros que utilizan energías renovables. De este modo, es posible sustituir el fertilizante por abonos orgánicos y biofertilizantes, el diésel mineral utilizado por los tractores por biodiésel. De igual forma, en la etapa de transporte y la etapa industrial, que son los

mayores consumidores individuales durante el proceso de producción de biodiésel, el uso de energía no renovable puede disminuir considerablemente al utilizar fuentes de energía renovable, como paneles fotovoltaicos para generar electricidad para las instalaciones industriales. En este escenario, la producción de biodiésel a partir de la higuera representa una opción energéticamente viable para México y una alternativa de desarrollo rural.

Aunque debido a la crisis agrícola que actualmente padece el campo mexicano, la producción de biodiésel no puede realizarse mediante cultivos tradicionales, como la soya o el girasol, tal como sucede en Brasil o Estados Unidos. En este contexto, México es altamente deficitario en la producción de cultivos oleaginosos para consumo humano por lo que tiene que importar la materia prima para la producción de aceite vegetal, en términos generales importa hasta el 90% de la materia prima para la generación de aceite vegetal. Por este motivo, la producción de biodiésel representa una oportunidad para construir un nuevo modelo bioenergético a partir de materias primas no convencionales, como la higuera o el piñón mexicano, que se describe a continuación.

3.5.3 El piñón mexicano (*Jatropha curcas*) como opción bioenergética sostenible

México tiene una carencia y una gran ventaja para la producción de biodiésel. Por un lado, el país no es autosuficiente en la producción de oleaginosas para el consumo humano por lo que la demanda nacional se cubre mediante importaciones, por esta razón, la producción de biodiésel no puede realizarse imitando el modelo impuesto en Brasil, ya que México no logra satisfacer su demanda de aceite vegetal por lo que tiene que importar 5 millones de litros anuales (IICA, 2010), mientras que el país sudamericano es el segundo productor mundial y el primer exportador de soya, una de las materias primas más demandadas para la producción de biodiésel. No obstante, a pesar de esta desventaja inicial, México cuenta como ventaja comparativa que es centro de origen de una de las especies más prometedoras para la producción de biodiésel a nivel mundial: el piñón mexicano (*Jatropha curcas*).

El piñón mexicano es una planta oleaginosa de tipo arbustiva y de corte perenne con una gran capacidad de adaptación difundida por todo el mundo y con un centro de origen en el sur de México (Zamarripa y Días, 2018). Por ello es posible encontrarla de forma silvestre en los siguientes estados mexicanos: Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. En el plano internacional, la extensa presencia de la especie se atribuye a marineros portugueses y españoles, quienes en la época colonial

distribuyeron por América Latina, África y Asia (IICA, 2010). A nivel mundial, hoy en día es posible encontrarla de forma silvestre y cultivada en áreas y ecosistemas tan distintos como la Cuenca del Amazonas en Brasil, las llanuras del Subcontinente Indio o las Sabanas del África Oriental. Es decir en regiones ubicadas entre los 0° y los 30° de ambas latitudes, Norte y Sur, y ubicadas a menos de 1500 msnm. Aunado a su expansión geográfica, la planta de *Jatropha Curcas* se ha fundido con la cultura local de los países donde se ha propagado. Así, mientras que en México se le conoce como piñón, en Brasil es conocido como *Pinhao manso* y en la India como *Physic Nut*.

Asimismo, es importante mencionar una peculiaridad entre las variedades existentes en el mundo y la existente en México. Mientras que las especies distribuidas por América Latina, Asia y África el aceite contenido en sus semillas contiene sustancias tóxicas, en México existen variedades con semillas no tóxicas. Esta diferenciación permite que la producción mexicana de biodiésel a partir de piñón tenga un menor costo de producción y una mayor versatilidad. Así, mientras que en las variedades mexicanas se puede utilizar la pasta proteínica como alimento para aves de corral, peces y ganado de forma directa. En contraste, para utilizar este subproducto de las variedades tóxicas presentes en el resto del mundo es necesario un proceso de desintoxicación (Zamarripa y Días, *Op. Cit.*). Esto se debe a que México por ser el centro de origen del piñón cuenta con la mayor variedad de especies, mientras que en el territorio Mexicano los investigadores del INIFAP encontraron 422 variedades de piñón, las investigaciones de igual propósito pero realizadas en África y Asia encontraron una baja variabilidad genética derivada de un ancestro en común

Al ser México centro de origen del piñón tiene una gran ventaja y responsabilidad global para desarrollar y preservar las variedades silvestres, por ello, el papel de los centros de investigación agrícola, como el INIFAP, deben de asegurar ese acervo genético y evitar la contaminación genética que puede tener el uso de variedades importadas. En este sentido, el piñón ha sido elegido como una fuente de energía renovable por sus características agronómicas favorables dentro de las que se destacan las siguientes:

Tabla 24. Ventajas del piñón mexicano (<i>Jatropha curcas</i>)	
<ul style="list-style-type: none"> • Originaria de México 	Esta característica le confiere una alta diversidad genética y adaptabilidad a los distintos ecosistemas del país. Asimismo, en México existen especies comestibles mientras que en el resto del mundo se han expandido variedades tóxicas.

<ul style="list-style-type: none"> • Es una especie con una alta resistencia a condiciones extremas 	El piñón puede sobrevivir y expandirse en tierras marginadas, erosionadas y abandonadas por la agricultura. Se adapta a una gran variedad de suelos y a condiciones cambiantes en su entorno.
<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la fertilidad y fija carbono en el suelo. 	El piñón es una especie perenne que puede crecer hasta por 40 años. Además de que sus hojas y frutos contienen un alto nivel de nutrientes útiles como abonos orgánicos. Por ende su ciclo de vida es de largo plazo y con ello se evita el uso de maquinaria como sucede con el cultivo de oleaginosas tradicionales, soya y canola, por ejemplo,
<ul style="list-style-type: none"> • Produce un aceite de alta calidad para biodiésel y bioturbosina. 	El aceite de semilla de piñón mexicano (<i>Jatropha curcas L.</i>) puede ser clasificada como aceite oleico-linoleico Comparado con otros aceites vegetales el aceite de piñón mexicano presenta contenidos más altos en oleico superando al aceite de la almendra de palma en 148 %, al aceite de girasol en 81 % y al aceite de soya en 63%.
<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la agricultura familiar 	El piñón es un cultivo intensivo en mano de obra y se adapta al cultivo intercalado con otras especies vegetales. Por lo que su desarrollo promueve la integración de la familia a la economía rural.
<p>Fuente: Jorge Martínez Herrera (10 de diciembre de 2007). <i>El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México</i>. Volumen 8. Número 12. Revista Digital Universitaria. DGSCA-UNAM. México.</p>	

En la Tabla 25 se ha mostrado las ventajas de la implementación del piñón mexicano como un insumo para la producción de biodiésel en función de tratarse de una planta endémica, de amplia distribución geográfica y adaptable a un modelo de agricultura familiar. Sin embargo, es necesario analizar los inconvenientes que podría traer dicho cultivo agroenergético.

Tabla 25. Desventajas del piñón mexicano (*Jatropha Curcas*)

<ul style="list-style-type: none"> • Monocultivo 	La búsqueda de un rendimiento económico puede inducir a plantaciones de monocultivo con consecuencias negativas para el desarrollo sostenible.
<ul style="list-style-type: none"> • Balance hídrico 	El establecimiento de plantaciones comerciales en climas áridos puede aumentar la demanda de agua subterránea y ocasionar la competencia con cultivos para fines alimenticios.
<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de la tierra 	El auge económico del biodiésel puede inducir al acaparamiento de la tierra agrícola en latifundios en función de un aumento de la renta por hectárea con consecuencias negativas en la distribución del ingreso de los pobladores rurales.
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de agroquímicos 	Al igual que otros cultivos, el piñón es susceptible a plagas por lo que de no usar técnicas de control biológico de las mismas se incrementará el uso de agroquímicos. Asimismo, si se desarrollan variedades transgénicas va a ser necesario el uso de tales insumos.
<ul style="list-style-type: none"> • Degradación del suelo 	El sustrato orgánico del suelo puede verse disminuido en caso de aplicar herbicidas en plantaciones de monocultivo debido a que el suelo tiene una intensa actividad biótica.

- **Aspectos culturales** agro- El piñón mexicano es una especie silvestre que aún no cuenta con un respaldo científico y cultura en México por lo que el principal obstáculo para considerarla como fuente de biodiésel es la ausencia de un conocimiento colectivo sobre la planta

Alfredo Zamarripa y Hugo Días. (2008). *Áreas de potencial productivo del piñón *Jatropha curcas* L., como especie de interés bioenergético en México*. Oleaginosas en cadena. Boletín No. 16. México.

De esta forma, al analizar las ventajas e inconvenientes del biodiésel se deduce que México tiene una oportunidad única a nivel mundial por ser el centro de origen del piñón mexicano y debe de ser la plataforma genética para el cultivo, en especial en lo que respecta a variedades no tóxicas. Por otra parte, en lo que respecta a los inconvenientes del cultivo, estos van a depender del sistema de producción que se utilice. Así, en función de utilizar monocultivos o policultivos incrementa la utilización de insumos intensivos en energía fósil; como la maquinaria, los fertilizantes o los herbicidas, mientras que en caso de optar por la segunda opción va a ser necesario el uso holístico del paisaje agrícola para encontrar un equilibrio en un sistema de policultivo. En este sentido, es necesario evaluar la producción de piñón a través del modelo de balance energético.

3.5.3.1 El balance energético del biodiésel del piñón mexicano

Al igual que la higuera, el biodiésel de piñón mexicano es considerado como de segunda generación por derivar de un cultivo energético, no de uno alimenticio. En México el potencial para la producción de biodiésel a partir de piñón mexicano considerando únicamente las tierras de temporal, unas 2, 619,916 hectáreas (equivalentes a 1.32%), ubicadas en regiones tropicales del país (Zamarripa y Días, 2008).

Por otra parte, en lo que respecta al balance energético, a diferencia de la higuera, el piñón mexicano es una especie perenne con un ciclo productivo de hasta 40 años, por lo que la demanda de energía va a variar durante este tiempo. Así, tenemos que durante el primer año, la etapa agrícola es la que demanda el 88% (7840 MJ/ha) de la energía total requerida para iniciar con el proceso productivo por lo que su balance energético es igual a 1: 1.54, por lo que se considera como un retorno energético bajo (Tabla 26). La explicación a esta relación obedece a que durante el primer año se realizan las labores agrícolas necesarias para la preparación del terreno, se instala el sistema de irrigación, se realizan las labores de control de plagas y por ende se utiliza combustible para mover la maquinaria agrícola. Otro aspecto que repercute

negativamente en el balance energético es que durante el primer año el piñón mexicano produce únicamente 300 kg/ha de semillas.

Tabla 26. Balance energético del piñón mexicano al primer año

ETAPA	CONSUMO ENERGÉTICO (MJ/HA)	BALANCE ENERGETICO
Agrícola	7840	1: 1.54
Transporte	112	
Transformación Industrial	944	
Consumo Total de Energía	8896	
Producción de energía	13778	

Fuente: Alfredo Zamarripa C., *et al.* (2010). *Balance energético en Jatropha curcas L. para la producción de biodiesel*. Resumen en V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, San Francisco de Campeche, México. 2010.

En este sentido, durante el segundo ciclo agrícola el balance energético mejora considerablemente ya que existen dos factores que coadyuvan a mejorar el balance energético. Por un lado, dado que la plantación se encuentra ya establecida y a que por sus características agronómicas ya no requiere el empleo de maquinaria agrícola existe un descenso en la demanda de energía fósil, por lo que su consumo energético disminuye de los 7,840 MJ/ha a los 4,185 MJ/ha. El segundo factor es que la producción por hectárea comienza a aumentar al pasar de los 300 Kg/ha a más de 1458 kg/ha (Zamarripa *et al.*, *Op. Cit.*).

Tabla 27. Balance energético del piñón mexicano al segundo año

ETAPA AGRÍCOLA		RELACIÓN ENERGÉTICA
INSUMOS	GASTO ENERGETICO MJ/ha	
HERBICIDA	327	1 : 7.67
PLAGUICIDA	474	
FERTILIZANTE	3384	
GASTO ENERGÉTICO	4185	
ETAPA DE TRANSPORTE		
INSUMOS	GASTO ENERGETICO MJ/ha	1 : 7.67
GASOLINA	3306	
DIESEL	144	
GASTO ENERGÉTICO	3451	
ETAPA DE TRANSFORMACIÓN		
INSUMOS	GASTO ENERGETICO MJ ha ⁻¹	1 : 7.67
ELECTRICIDAD + SOLVENTES	1526	
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA		1 : 7.67
	71342	

Fuente: Alfredo Zamarripa C., *et al.* (2010). *Balance energético en Jatropha curcas L. para la producción de biodiesel*. Resumen en V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, San Francisco de Campeche, México. 2010.

Por lo tanto, al igual que sucede con la higuera, el piñón mexicano muestra un balance energético positivo aunque este sucede a partir del segundo año, cuando la relación entre la energía gastada y la generada es de 1:7.67 (Tabla 27). Por lo tanto, como el balance energético resultante es superior a tres se puede considerar a la planta como un insumo para la producción sostenible de biodiésel.

3.6 El desarrollo rural sostenible a través de la bioenergía: limitaciones en el desarrollo de biocombustibles a partir de la agricultura convencional

Uno de los grandes debates a nivel mundial sobre la producción y uso de los biocombustibles ha sido la competencia con la producción de alimentos y sus efectos sobre el precio y los inventarios mundiales de los mismos. Por un lado se encuentran los opositores al desarrollo de la bioenergía como una fuente de energía viable debido a los efectos secundarios que tal desarrollo conlleva. En este aspecto, los profesores de la Universidad de Minesota C. Ford Runge y Benjamín Senaur (Mayo-Junio de 2007) en su artículo titulado *¿Cómo los biocombustibles pueden matar de hambre a los pobres?* argumentan que el etanol producido a partir de maíz amarillo consume prácticamente la misma cantidad de energía que la que sustituye, ya que la cosecha del cereal está altamente mecanizada y requiere de insumos derivados del petróleo. Además, los profesores señalan que la demanda de maíz para la producción de etanol genera un efecto inflacionario tanto a nivel nacional como a nivel internacional, debido a que se trata de prácticamente de una demanda infinita de maíz para suplir al mayor mercado energético mundial.

De igual manera, el premio Nobel de Química, Dr. Mario Molina (Diciembre de 2005) señala que la producción de etanol a partir del maíz resulta una competencia directa para el consumo humano por lo tanto es una contradicción decir que se trata de un modelo sostenible de energía. En este aspecto coinciden las investigaciones derivadas del Instituto para la Investigación de la Política Alimentaria Internacional de la Universidad de Washington, las cuales señalan que el precio del maíz en el mercado mundial aumentará un 20% en 2011 y un 41% en 2020, como efecto del aumento del petróleo y de la demanda del cereal para la producción de etanol (Budny y Sotero, Abril de 2007,). Así, se puede resumir que el principal obstáculo a la producción de biocombustibles es la materia prima de la cual se produce. Esta problemática comienza con el sistema de producción agrícola del país norteamericano, la cual es altamente intensiva en

petróleo. Después, existe el dilema de la insuficiencia de los inventarios de materia prima para suplir un mercado de la magnitud del estadounidense.

Es precisamente, en estas críticas donde los defensores de los biocombustibles existen grandes ventajas para estimular y promover la producción de biocombustibles. Esta ventaja radica precisamente en la materia prima y en el tipo de agricultura que se practique. En este contexto, Julieta Andrea Puerto Rico (2008), profesora de la Universidad de Sao Paulo, señala que al igual que otras actividades agrícolas, los biocombustibles generan impactos ambientales, las cuales pueden ser disminuidas en función del proceso productivo mediante el que se obtienen. De manera, Brasil posee una mayor competitividad respecto a Estados Unidos, debido a que la caña de azúcar es un cultivo que genera una mayor cantidad de biomasa que el maíz amarillo, por lo tanto su rendimiento en producción de etanol es superior.

Otra de las críticas que comúnmente se les atribuye a los biocombustibles es su posible vinculación con los procesos de deforestación existentes en los países en vías de desarrollo. Sobre este aspecto, María Tachinardi (Mayo de 2006) señala en su obra *¿Por qué el Brasil no toma esa oportunidad?* que comúnmente se culpa al desarrollo de la industria de los biocombustible como la principal causante de la deforestación de la selva Amazonas, cuando es conocido que la producción de etanol se lleva a cabo en la región sur-sureste de Brasil, donde el clima y los tipos de suelo permiten su desarrollo. Tachinardi (*Op. Cit.*) argumenta que los suelos ácidos de la cuenca amazónica imposibilitan el crecimiento de la caña de azúcar. Asimismo, la autora brasileña señala que la amenaza principal a las selvas tropicales la constituye la demanda mundial de maderas duras y la expansión de la ganadería extensiva.

Existe un amplio debate en torno al desarrollo y producción de los biocombustibles en diversas partes del mundo. Hasta el momento, se ha hablado de los problemas derivados de la producción de etanol a partir del maíz en los Estados Unidos y de las ventajas que ofrece la caña de azúcar en Brasil como insumo bioenergético, pero no se ha establecido un análisis respecto a la unidades de consumo final: los vehículos dotados un motor de combustión interna.

3.6.1 La agricultura ecológica como una propuesta a la producción de biodiésel

En el párrafo anterior se señaló que la utilización de biocombustibles bajo un modelo de agricultura industrial tiene limitaciones debido al flujo de energía fósil que se requiere para su desarrollo. Así, tenemos los casos del etanol de maíz en los Estados Unidos y la soya en Brasil, ambos intensivos en el uso de maquinaria, fertilizantes y herbicidas por lo que su balance

energético es considerado como bajo, ya que en el caso del maíz es 1.9 y en el de la soya de 3.21 (Gazzoni *et al.*, Octubre de 2009).

Por otra parte, México no es un país autosuficiente en la producción de cultivos oleaginosos destinados a la producción de aceite vegetal por lo que es inviable desde el punto de vista económico, ambiental y social destinar a la producción de biodiésel las cosechas de cultivos oleaginosos nacionales. De este modo, el país latinoamericano tiene un alto grado de dependencia externa en dichos insumos, destacándose la canola y la soya, con un 99.7% y la 89% (Tabla 28). Por lo que la producción de biodiésel debe de basarse en cultivos alternativos.

Tabla 28. Oleaginosas de mayor consumo en México y el mundo

MATERIA PRIMA	VOLUMEN IMPORTADO (Toneladas)	PROVEEDORES	DEPENDENCIA EXTERNA (Porcentaje)	PRINCIPALES OLEAGINOSAS PRODUCIDAS A NIVEL MUNDIAL
Soya	4,000,000	Estados Unidos, Canadá y Brasil	89%	
Canola	1,341,000	Estados Unidos y Canadá	99.7	
Cacahuat e	112,000	Estados Unidos, China y Nicaragua	56.9%	
Ajonjolí	28,350	India y Paraguay	63%	

Fuente: OECD/FAO (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. OECD Publishing, Paris.

Ante este panorama, en México la agricultura precolombina desarrollo uno de los mejores sistemas agroecológicos conocidos en la actualidad: la milpa. El cultivo de la milpa consiste en un sistema agrícola de policultivo en el que se siembra de forma intercalada diversas especies vegetales: maíz, frijol, calabaza, chile y tomate (Gutiérrez y Gómez, 2011). Otra característica peculiar del sistema de milpa es que no tolera el uso de herbicidas debido a la combinación de plantas de especies distintas por lo que no pueden aplicarse herbicidas selectivos, como los glifosatos utilizados en el cultivo de la soya. Por otra parte, uno de los cuestionamientos más difundidos a escala global es el debate de elegir entre biocombustibles o alimentos.

En este contexto, el INIFAP ha demostrado que la forma más eficiente para la producción de biodiésel a partir de higuierilla y piñón mexicano es la utilización de un sistema de policultivo similar a la milpa. En este sistema es posible obtener una agricultura multifuncional que puede llevar a la producción de alimentos y de bioenergía. Ante este reto, una de las mejores respuestas la encontramos en el estudio realizado por Hernandez y Zamarripa (Enero-Junio de 2013),

quienes analizaron el cultivo de la higuierilla en asociación con el cultivo del maíz. Las conclusiones a las que han llegado es que es posible combinar la producción de alimentos y bioenergía si se utiliza el cultivo adecuado.

A diferencia de los cultivos oleaginosos tradicionales como la soya y la canola, materias primas utilizada en Brasil y Alemania para la producción de biodiésel, que no pueden producirse en un esquema de policultivos debido a sus características agronómicas, la higuierilla difiere debido a que se trata de una planta semi-perenne, por lo que produce hasta cuatro veces antes de realizarse una segunda siembra, mientras que la soya o la canola producen una sola vez por ciclo agrícola. Por otra parte, al tratarse de una planta arbustiva, es posible asociarla con cultivos alimenticios, tales como el cacahuate, el frijol o maíz.

Tabla 29. Balance energético del cultivo de la higuierilla asociado con maíz

INSUMOS	ETAPA AGRÍCOLA		RELACIÓN ENERGÉTICA
	GASTO ENERGÉTICO MJ ha ⁻¹		
	<i>R. communis</i> L.	<i>Z. mays</i> L.	
DIESEL	1898	975	1 : 5.2
ACEITE	48	30	
HERBICIDA	236		
PLAGUICIDA		773	
FERTILIZANTE	3830	8497	
SEMILLA	57	344	
GASTO ENERGÉTICO	6069	10619	
ETAPA DE TRANSPORTE			
CULTIVOS	GASTO ENERGÉTICO MJ ha ⁻¹		
<i>R. communis</i> L.	1580		
<i>Z. mays</i> L.	2316		
GASTO ENERGÉTICO	3896		
ETAPA INDUSTRIAL			
CULTIVO	GASTO ENERGÉTICO MJ ha ⁻¹		
<i>R. communis</i> L.	4763		
GASTO ENERGÉTICO TOTAL (MJ ha⁻¹)	25347		
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA. (MJ ha⁻¹)	131917		
Biodiesel	53022		
Maíz	78895		

Fuente: José Luis Solís Boniilla *et al.* (Febrero-Marzo de 2016). *Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (Ricinus communis L.) en Montecillo, Estado de México.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7, núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

En este aspecto, el diseño de la plantación va a permitir el control de erosión, la fijación de carbono y el aprovechamiento del agua pluvial. En este aspecto, Eugenio Gras en su obra *Cosecha de Agua de Lluvia y Diseño Keyline* (Invierno de 2010) estima que a través de la utilización de biofertilizantes, diseño de plantaciones y cultivos de cobertura, como el cacahuate y el frijol, es posible alcanzar una captura de carbono atmosféricos hasta de 57 ton/ha. De este modo, la higuierilla tiene ventajas importantes desde el punto de vista agronómico para una

producción sostenible ya que disminuye la utilización de maquinaria agrícola, insumos y combustible en relación con cultivos de oleaginosos tradicionales.

En lo que respecta al balance energético, en el caso de la higuierilla se puede obtener una energía sostenible, ya que la demanda de energía de ambos cultivos es de 25,347 MJ/a y la energía obtenida es de 131,917 MJ/ha, por lo que es posible obtener un relación energética de 1:5.2, que comparado con el monocultivo de higuierilla analizado es superior. De igual forma, en el análisis propuesto por el Bonilla (2011) es posible mejorar el balance energético al reducir la demanda de fertilizantes químicos y sustituirlos por fertilizantes orgánicos producidos localmente, ya que este insumo es el mayor demandante de energía con 12327 MJ/ha, es decir una quinta parte del gasto energético total (Tabla 30)

En igual sentido pero en el caso del cultivo de piñón mexicano se ha obtenido el siguiente resultado. A partir de las investigaciones del Dr. Alfredo Zamarripa Colmenero (2011), el INIFAP ha propuesto un agrosistema de policultivo de piñón mexicano asociado con maíz o una leguminosa, frijol o cacahuate. En este agrosistema ha sido posible obtener una producción de 4.1 toneladas de maíz por hectárea, 1 tonelada de frijol y una producción de 4.6 toneladas de semilla de piñón por año, como muestra la tabla a continuación.

Tabla 30. Sistema de policultivo del piñón mexicano

Distancias de 2 X 4 m; 4.1 t/ha de maíz



Distancias de 2 X 4 m; 1.0 t/ha de f



Fuente: Alfredo Zamarripa C., et al. (2010). *Balance energético en *Jatropha curcas* L. para la producción de biodiesel*. Resumen en V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, San Francisco de Campeche, México. 2010.

De esta forma, bajo los dos agrosistemas analizado es posible obtener una producción dealimento y bioenergía, de igual forma, la asociación de cultivos puede incrementar los rendimientos agroenergéticos y disminuir la utilización de insumos derivados del petróleo. Sobre

este tema, el Dr. Marcel Morales Ibarra (2010) concluye en su trabajo de investigación titulado *Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable* que en las raíces de estas leguminosas, como el cacahuete y el frijol, es posible encontrar nódulos de bacterias del género *Rhizobium*. Estas bacterias pueden fijar el nitrógeno del aire en el suelo y con ello evitan el uso de fertilizantes producidos a partir de combustibles fósiles. De esta manera, la única vía para incrementar el balance energético de los cultivos destinados a la producción de biodiésel es la asociación con cultivos alimenticios y en algunos casos la simbiosis resultante puede coadyuvar a disminuir los requerimientos de insumos intensivos en energía no renovable.

En el párrafo anterior se ha demostrado que el piñón tiene como ventaja respecto a otros cultivos energéticos la posibilidad de asociarse y con ello aumenta su sostenibilidad. En este sentido, la Tabla 28 muestra el potencial de la planta desde un manejo integral de la misma. Al establecerse la plantación de piñón mexicano a partir de curvas de nivel es posible utilizarla como control de erosión, mejorador de suelo, ya que al tratarse de una planta perenne y de crecimiento rápido promueve la fijación de dióxido de carbono atmosférico en el suelo y con ello contribuye al cambio climático. Además debido a que se trata de una planta con flores se puede utilizar para la producción miel y como barrera viva para el control biológico de plagas en cultivos alimenticios por sus propiedades tóxicas de sus hojas. Sobre este punto, el piñón mexicano tiene propiedades bioquímicas de interés para la medicina ya que el látex contenido en el tallo tiene propiedades medicinales como antisifilítico, purgante y uso externo en lesiones dérmicas, asimismo, por su contenido de *Phorbol esters* se puede utilizar en la elaboración de biopesticidas.

Por otra parte, los frutos se componen de una cascarilla y una semilla las cuales mediante un proceso de industrialización es posible obtener aceite vegetal el cual es convertido en biodiésel pero que una vez obtenido el biocombustible se obtiene como subproductos una torta proteínica, la cual se utiliza como alimento pecuario y glicerina para la industria cosmética y farmacéutica. De igual forma, la cascarilla que contiene la semilla es utilizada como insumo para la obtención de pellets y biofertilizantes.

De esta manera, como ha podido describirse, tanto el piñón mexicano como la higuierilla tienen un balance energético positivo por lo que puede considerarse como una fuente de energía sostenible debido a dos factores. El primero es que ambas especies pueden cultivarse en asociación con cultivos alimenticios y el segundo factor es que de ellas pueden obtenerse de múltiples productos agroindustriales a partir de las distintas partes de la planta. Por lo tanto, su integración como una fuente de energía sostenible y renovable representa para México un caso pionero a nivel mundial.

CONCLUSIÓN

El trabajo de investigación *El biodiésel como estrategia de desarrollo sostenible. Casos de Estudio: México y Brasil* ha tenido como objetivo de investigación demostrar que la posible puesta en marcha de un programa de producción de biodiésel puede ser una estrategia de desarrollo sostenible para México. Para alcanzar tal objetivo se analizaron los casos de estudio de los países mencionados anteriormente. En el contexto del escenario global fue posible identificar tres crisis estructurales a escala planetaria vinculadas al sistema energético preponderante:

- *Social*: Existe una desigualdad en el consumo extrasomático de la energía fósil, la cual sucede en distintas escalas y niveles (local y global). Con ello se acrecientan el nivel de desarrollo, entre países, y se limita el bienestar de la sociedad.
- *Económica*: La relación entre el precio de la energía y los costos económicos asociados a la realización de actividades productivas es una constante. Al cotizar el precio del petróleo en los centros financieros internacionales, los países productores y consumidores enfrentan distintos escenarios en función del aumento o disminución del precio del petróleo y con ello se vulnera el desarrollo de sus sociedades. Además, el costo económico del energético no asimila los costos ambientales que genera su extracción y uso en el planeta, sino que está determinado por las posiciones de mercado e intereses geoestratégicos de los países desarrollados.
- *Ambiental*: La extracción y uso irracional de los recursos energéticos ha ocasionado dos conflictos. El primero es el aumento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el segundo es la contaminación de los ecosistemas y sus elementos asociados (suelo, agua y biodiversidad). Por lo tanto, el aumento continuo del consumo de combustibles fósiles representa una amenaza para el funcionamiento global del planeta tierra.

Ante el modelo energético vigente, cuyas características son la centralización, la inestabilidad económica y alto impacto ambiental, en el presente trabajo se ha demostrado que es imprescindible una política dirigida a la contención y modificación de sistema energético predominante a escala global que debe ser la base para una transición energética hacia un sistema sostenible, cuya primicia sea la generación de energía renovable pero que al mismo tiempo brinde la posibilidad mitigar las emisiones contaminantes por el sistema precedente y que además contribuya al bienestar económico. Por lo que se han desarrollado las siguientes deducciones:

La bioenergía es la única fuente de energía renovable que en la actualidad puede lograr un cometido dual: captura de carbono y provisión energética, puesto que otras energías renovables, como la eólica o solar, únicamente pueden desplazar emisiones de GEI pero no almacenarlas. Sin embargo, para alcanzar tal objetivo es necesario establecer marcos legales y un nuevo modelo de desarrollo agrícola basado en un bajo consumo energía extrasomática y el uso eficiente de recursos renovables. Por ser un combustible de carácter estratégico en el desarrollo económico del país que los utiliza.

En este contexto, se concluyó que ambos países, México y Brasil, convergen en sus sistemas energéticos en los siguientes puntos:

- *Estructura energética:* La principal fuente de la energía primaria (extrasomática) proviene de los combustibles fósiles (petróleo y gas natural), los cuales se destinan mayoritariamente a su utilización en motores de combustión interna en dos combustibles derivados, gasolina y diésel.
- *Desequilibrio de mercado:* Existe un aumento constante de su demanda interna de combustibles, destacándose un incremento en el consumo del diésel superior al crecimiento de la oferta. Este aumento obedece a que por sus características químicas el diésel posee una mayor densidad que la gasolina, de igual forma al comparar al biodiésel con el etanol, por ello, en la búsqueda de disminuir el costo de la energía los actores económicos tienden a preferir el combustible diésel por tener un mayor rendimiento energético respecto a la gasolina.

Por esta razón el sector transporte de ambos países dependen de este combustible en la siguiente manera:

- *Dependencia externa:* Vulneran su seguridad energética al importar un combustible estratégico, el diésel, cuyo precio es vulnerable al mercado energético global. Con ello y dado que se trata de un combustible vital y actualmente insustituible se vulnera el desarrollo de actividades económicas al tratarse de países exportadores de materias primas y bienes industriales de gran importancia regional.
- *Políticas públicas no adecuadas:* Ambos países intervienen negativamente en sus respectivos mercados energéticos al aplicar subsidios que alteran el precio del combustible. Este política origina que un aumento en la demanda nacional con consecuencias ambiental (pérdida de la calidad del aire), económicas (desvío de recursos

gubernamentales) y sociales (incremento de enfermedades respiratorias). De igual manera carecen de incentivos que conlleven a la eficiencia energética, tales como incentivos fiscales a los vehículos menos contaminantes y adopción de innovaciones tecnológicas.

- *Atraso tecnológico:* Carecen de una infraestructura productiva acorde a los estándares en materia de normatividad ambiental internacional aplicable a la calidad del combustible diésel expedido en el país. Ambos países comparten un rezago tecnológico en sus sistemas de nacionales de refinación que les impide cumplir con las normas ambientales establecidas y que este hecho ocasiona una afectación directa a la salud de los habitantes urbanos.

Ante el escenario expuesto, podemos considerar que tanto México como Brasil están enfrentando la necesidad de rediseñar su política energética, ya que la mejor manera de alcanzar la sostenibilidad es por medio de la eficiencia energética, es decir a través de un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles para la satisfacción de las necesidades humanas. Por ello, es importante modificar la política energética en tres vías.

- *Incrementar la reducción en el consumo de energía por unidad de transporte:* En este aspecto es necesario aumentar el rendimiento de combustible mediante la adopción de nuevas tecnologías, tales como vehículos híbridos. Los cuales utilizan un motor de combustión interna en carretera y un motor eléctrico en las ciudades.
- *La introducción de fuentes de energía renovables:* Además del criterio de ser renovables es necesario que tengan la capacidad de reducir las emisiones contaminantes ya creadas por el sistema anterior y que puedan adecuarse al sistema actual de transporte para iniciar una transición energética.
- *Implementar una política de transporte urbano integral:* Disminuir el uso transporte privado a favor del público. En este caso, una política fiscal de línea ambiental sería el cobro de impuestos por emisiones emitidas por kilómetro recorrido incentivaría al abandono del transporte privado.

De esta manera, al analizar el caso de Brasil, se concluye que la implementación del Programa Nacional para la Producción de biodiésel (PNPB) es una política pública de vanguardia al introducir en su matriz energética un combustible renovable. De este programa se destacan tres resultados:

Económico: Disminuyó las importaciones de combustible diésel. El diésel fósil constituye el combustible de mayor utilización en términos de volumen. De igual forma, el aumento en el consumo derivado de la expansión económica ha generado un incremento de las importaciones de combustible diésel de manera constante, generando un desequilibrio en las finanzas públicas del Estado.

Social: Logró vincular a los agricultores familiares en la producción energética del país al integrarlos en un sector productivo estratégico para el desarrollo del país.

Ambiental: Generó un combustible renovable y que posee la capacidad de mitigar emisiones de Gases de Efecto Invernadero durante su combustión y ciclo productivo, de esta manera mejoro cualitativamente la calidad del aire de las ciudades. Además de que convirtió los aceites de cocina usados, considerados como residuos peligrosos, en biodiésel.

De esta manera, el análisis PNPB permitió considerar que este programa no solamente representa una política energética sino que se perfila como una estrategia de desarrollo sostenible con las siguientes bases:

- **Tecnológica:** El país cuenta con antecedentes en el uso a gran escala del etanol como biocombustible. En el caso del biodiésel, su invención correspondió a un científico brasileño, por ello, el cimiento del PNPB ha sido la Red de Tecnología del biodiésel, que es un conjunto de instituciones académicas y centros de investigación que estudian los procesos productivos del biocombustible.
- **Marco legal:** El PNPB cuenta con un mandato legal que obliga a la PETROBRAS a realizar la adición del biodiésel al diésel fósil, conocido como B6. El resultado de esta ley ha sido la certeza jurídica a los integrantes de la cadena productiva de que se trata de un programa de energía renovable con viabilidad técnica y con un objetivo a largo plazo.
- **Incentivos Económicos:** El Sello de Combustible Social constituye un incentivo fiscal para las empresas productoras de biodiésel para que establezcan contratos con los agricultores. Así, el Estado brasileño coacciona para que se integre a los actores rurales menos favorecidos mediante una disminución en la carga impositiva, la cual es acorde a las disparidades regionales.

Por otra parte, a pesar de sus avances en Brasil, el PNPB tiene importantes limitaciones ya que es necesario reorientarlo puesto que tienes la siguiente limitación. El PNPB no alcanzó

sus objetivos a nivel nacional sino que tuvo un mayor éxito a nivel regional, en el sur y sureste del país, por razones culturales, de tenencia legal de la tierra y porque en el Sello de Combustible Social no se incluyeron variantes ambientales relativas a la captura de carbono, uso eficiente del agua y conservación de suelos.

De esta manera, el PNPB establecido por Brasil demuestra que el biodiésel es una ruta tecnológica viable y asimilable en la transición energética pero que actualmente es necesaria su reorientación en su base productiva, y transitar de cultivos anuales, como la soya, intensivos en bienes de capital y dependientes de energía no renovables, hacia cultivos anuales, como la palma macaúba, nativa del país, intensiva en mano de obra y cuya producción depende de recursos renovables.

Finalmente, el estudio de caso en Brasil muestra tres áreas aplicadas en el caso de México:

Ambiental: Disminución y captura de gases de efecto invernadero

Económica: Descentralización del sistema energético y sus flujos económicos

Social: Generación de empleos y alimentos.

Por otra parte, en el presente trabajo se concluye que la situación de México es de dependencia hacia los combustibles derivados del petróleo (gasolina y diésel) y su seguridad energética se vulnera debido a que una gran parte de dichos combustibles son importados. Por ello, para México es necesario iniciar un proceso ordenado y gradual hacia las energías renovables.

Ante este panorama expuesto, el diagnóstico realizado demuestra que en el caso de Brasil existía un contexto energético similar para la implementación de un combustible alternativo, el biodiesel, y que además ha generado una vía hacia el desarrollo sostenible al integrar a la producción rural con la demanda energética de las ciudades. No obstante existen importantes diferencias entre ambos países respecto al problema de desabasto del diesel y de la política interna de sustitución por biodiesel.

- **Prioridad energética:** Mientras que Brasil posee una política pública específica, el denominado Programa Nacional para la Producción de biodiésel, que estableció un marco jurídico, una estrategia productiva y esquemas de cooperación a nivel intergubernamental y sienta las bases para el desarrollo rural del país, en el caso de

México, únicamente posee un instrumento jurídico, la Ley para la Promoción de Bioenergéticos de manera general, no hace diferencia entre los dos biocombustibles, etanol y biodiésel, tampoco establece las metas nacionales para crear un mercado nacional en tiempo y espacio. Por lo que carece de objetividad y obligatoriedad.

- **Responsabilidad social:** El efecto de este vacío legal conlleva a graves perjuicios ambientales, sociales y económicos, ya que uno de los aspectos que ha abordado la investigación es la dinámica del mercado nacional del diésel, donde uno de los problemas estructurales es el efecto negativo de los subsidios que eleva la demanda y con ello inhibe el desarrollo y la producción de combustibles alternativos al aplicar un dumping energético. De igual forma, la política energética actual ocasiona un incremento en las emisiones de GEI y con ello existe una pérdida en la calidad del aire, especialmente en las megas urbes de Sao Paulo, Brasil, y la Ciudad de México.
- **Modelo agrícola:** Aunque en lo que respecta al modelo agrícola, tanto México como Brasil cometen el error de emular a los países desarrollados, Estados Unidos y los miembros de la Unión Europea, de tratar de implementar la bioenergía a partir de modelos productivos basados en monocultivos, como es el caso de la soya, ya que a diferencia de los países del Norte, los latinoamericanos pueden implementar cultivos perennes. Sin embargo, Brasil está experimentado para realizar la producción por etapas. En el corto plazo, la producción brasileña de biodiésel depende de cultivos anuales, los cuales tienen como principal ventaja un retorno rápido de capital pero una baja mitigación ambiental. Por otro lado, en la medida en que los cultivos perennes, como la palma macaúba o el piñón mexicano adquieren una mayor viabilidad se establecen este tipo de cultivos que poseen mayores criterios de sostenibilidad.

Por lo tanto México debe de aprovechar de la experiencia brasileña para crear un marco legal adecuado al biodiésel en el que se establezcan metas temporales de introducción gradual del biodiesel; que sienta las bases para la investigación y desarrollo tecnológico; y que fomente la inversión pública y privada en el ámbito rural para integrar al sector agrícola en la producción de bioenergía.

En este contexto, al analizar el sector agrícola de México se concluye que tiene los siguientes problemas estructurales:

Económicos: Es un país importador de alimentos y por ello a las cotizaciones globales de precios.

Sociales: Existe un éxodo rural de agricultores hacia el extranjero ante la falta de oportunidades de desarrollo socioeconómico en sus lugares de origen.

Ambientales: El territorio mexicano se encuentra afectado por la erosión, cambio de uso de suelo e impacto de fenómenos climatológicos.

De este modo, en México las ventanas de oportunidad están en empatar las necesidades energéticas del entorno urbano con las demandas sociales del sector rural. Así, un modelo de desarrollo sostenible a partir del biodiésel debe de iniciar con la reconfiguración del modelo agrícola existente a partir de las crisis y oportunidades que brindan factores sociales y territoriales. Dicho modelo debe de basarse en los siguientes criterios.

- **Recursos naturales:** En México dos terceras partes del territorio poseen tierras degradadas por las actividades primarias, principalmente por la ganadería. Dicho espacio constituye la base de un programa de energía sostenible a partir de criterios ambientales que se enfoquen en los flujos de materia y energía para la obtención del biocombustible y al mismo tiempo se regeneren dichos territorios.
- **Estructura económica:** El país cuenta con una estructura agraria favorable para el fortalecimiento de la agricultura familiar debido la concentración de la tierra es menor que en Brasil y por ello existe una importante aportación de la agricultura familiar en la producción nacional.
- **Modelo agrícola permanente:** La construcción de un modelo agrícola para la producción de energía sostenible es necesaria en función de que México por geográficas, capital natural y humano puede establecer cultivos perennes endémicos, *Jatropha Curcas* y *Acrocomia Aculeata*. Este tipo de producción favorece la mitigación de GEI puesto que su ciclo productivo es de hasta 70 años, su rendimiento de biodiésel es diez veces más que la soya y favorecen la policultura, tanto porque ambas especies son comestibles y porque es posible la realización de sistemas agroforestales.
- **Capacidad técnica:** El país cuenta con suficientes instituciones académicas y de investigación para respaldar al biodiésel como una fuente de energía renovable y un

modelo de desarrollo sostenible en función de que aún posee los ingresos monetarios derivados de la extracción del petróleo que le permite costear la transición energética.

Finalmente, se puede afirmar que la producción de biodiésel representa una alternativa de desarrollo sostenible para el sector rural mexicano y el medio ambiente al ser una fuente de energía viable desde el punto de vista técnico, como lo demuestra la experiencia brasileña; ser una alternativa económicamente productiva y ambientalmente responsable al mitigar emisiones de efecto invernadero, generar empleos y alimentos en el sector rural; y fortalecer la seguridad energética del país. Así, el resultado de integrar al biodiésel de producción nacional en la matriz energética un cambio en la relación del flujo de energía extrasomática en México, puesto que actualmente el sistema funciona con la transferencia de la energía primaria (petróleo) y con la importación de energía secundaria (diésel fósil) hacia un modelo energético descentralizado, en el cual la energía renovable trae beneficios económicos, sociales y ambientales para los agricultores mediante y al mismo tiempo produzcan un combustible que contribuya al mejoramiento de la calidad del aire de las ciudades mexicanas.

BIBLIOGRAFÍA

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2005). *Mobilidade nas cidades brasileiras, Sistema de Informação da Mobilidade Urbana*, São Paulo.

ATKINSON, G. *et al.*(2007). *Handbook of Sustainable Development*. Reino Unido.

BOURNE, Joel K. (Octubre de 2007). *Green Dreams*. National Geographic. Vol. 21 Núm. 04. EE. UU.

CANTÚ MARTÍNEZ, Pedro César (Septiembre-Octubre de 2015). *Ascenso del desarrollo sustentable*. Ciencia UANL. Año 18. No.75. Universidad de Autónoma de Nuevo León. México.

CASTRO SILVA, Jose de (2007). *Macaúba: fonte de matéria prima para os setores alimentício, energético e industrial*. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Brasil.

CENBIO (Noviembre de 2008). *Biodiésel tem tudo para dar certo no Brasil*. Revista Brasileira do Bioenergia. Centro Nacional de referencia en Biomasa. Brasil.

CENTRO MARIO MOLINA (Diciembre 2005). *Evaluación costo beneficio de la mejora en la calidad de los combustibles automotrices en el país*. México.

CEPAL (Octubre de 2016). *La matriz de la desigualdad social en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

CONWAY, Gordon R. (1983). *Agroecosystems analysis*. Imperial College. Londres.

CLEAN AIR INSTITUTE (2013). *Air Quality In Latin America: An Overview*. Center for Clean Air Policy. Washington.

CUNNINGHAM, Roberto (Agosto de 2003) *La energía, historia de sus fuentes y transformación*. Petrotecnia. Argentina.

DALY, Herman Edward (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press. EE.UU.

DELTACO2 y CENA. (2013). *Pegada de carbono na produção de biodiesel de soja*. Centro de Energía Nuclear na Agricultura. Brasil.

DENARDI, R.A. (1995). *Políticas públicas, produção de leite e agricultura familiar no sul do Brasil*. Workshop: Os desenvolvimentos de outra agricultura acessam a terra e os meios de produção, a questão da fome e a integração social. Doutorado Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal de Paraná, Curitiba, Brasil.

EL SERAFY, Salah (Junio-Julio de 1992). *La contabilidad verde y la sostenibilidad*. Núm. 800. ICE Desarrollo Sostenible. Colombia

EMBRAPA (1984). *Babaçu: Programa Nacional de Pesquisa*. Brasil.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (2014). *Balance energético nacional* Ministério de Minas e Energia. Brazil

FEARNSIDE, Philip M. (1997). *Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia*. Vol. 20. Ecological Economics. Reino Unido.

FERREIRA, Jose Rincón *et al* (2006). *O futuro do Biodiesel*. MDIC. Brasil.

GAZZONI, Décio Luiz *et al* (Octubre de 2009). *Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel*. Número 11. Revista Espacio y Energía. Brasil

GARCÍA, Bustamante Carlos A. y Masera Cerutti Omar. *Estado del arte de la bioenergía en México*. Publicación de la Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt. México.

GEORGERSU-ROEGEN, Nicholas (1971). *The entropy law and the economics process*. Harvard University Press. Cambridge.

GLIESSMAN, S. R. (2000). *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Lewis Publisher. EE.UU.

GONZÁLEZ Ávila, Alfredo *et al.*(2011). *Guía para cultivar Higuierilla (Ricinus communis L.) en Jalisco*. Folleto Técnico Núm.1 INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

GOUVELLO, Christophe *et al.* (2010). *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Banco Mundial. Brasil

GRAS, Eugenio (Invierno de 2010). *Cosecha de agua y tierra: diseño con permacultura*. Primera Edición. Ediciones Coas. México.

GRAZZIANO DA SILVA, J. (1993). *Uma agricultura alternativa ou um capitalismo verde*. Ciencia & Ambiente. Brasil.

GREEN, Joanne & Sánchez, Sergio (Marzo de 2013) *La calidad del aire en América Latina: Una Visión Panorámica*. Clean Air Institute. EE.UU.

GUCCIARDI GARCEZ, Catherine Aliana (2012). *Cultivating sustainable development? An analysis of the Brazilian public policy for biodiesel within the context of sustainable development and environmental management*. Center for Sustainable Development. University of Brasilia. Brasil.

GUTIÉRREZ, N.G. y GÓMEZ Espinoza, J.A. (2011). *Relatos de vida productiva alrededor del maíz. Maíz, milpa, conocimiento y saberes locales en comunidades agrícolas*, in: Argueta Villamar, A., Corona-M, E., Hersch, P. (Eds.), *Saberes colectivos y diálogos de saberes en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

HERNÁNDEZ Rodríguez, Rafael y ZAMARRIPA Colmenero, Alfredo (Enero-Junio de 2013). Competitividad de la higuierilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. XVII, núm. 32. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C.Torreón, México.

HERRERO, Luis M. Jiménez (1980). *Ecodesarrollo. Diccionario Enciclopédico*. Editorial Planeta. España.

HERRERO, Luis M. Jiménez (2001). *Desarrollo sostenible y economía ecológica*. Editorial Síntesis. España.

IBGE (2007) *Censo Agropecuario*. Ministério da Agricultura, Pecuária y Abastecimento. Brasil.

IICA (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustible* San José, Costa Rica.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO (2012). *Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México.

IICA (2010). *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel*. San José, Costa Rica.

LÓPEZ Ángel, Lexi Levivi *et al.* (2011). *Balance energético del cultivo de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel*. Folleto Técnico Num.15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México.

MARTÍNEZ ALIER, Joan (1995). *Los principios de la economía ecológica*. Fundación Argentaria. España.

MARTÍNEZ ALIER, Joan y Jusmet, Jordi Roca (2001). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. 2da. Edición. México.

MARTÍNEZ Herrera, Jorge (10 de diciembre de 2007). *El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México*. Volumen 8. Número 12. *Revista Digital Universitaria*. DGSCA-UNAM. México.

MARTINEZ SALGADO, Hilda (27 de octubre de 2013). *Estudio de Emisiones y Características vehiculares en ciudades Mexicanas*. Centro de Transporte Sustentable de México A.C. México

MASERA, Omar *et al.* (2006). *La bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable*. Red Mexicana de Bioenergía y Comisión Nacional Forestal. México.

MATINS, Rodrigues Clenilson & Verardi, Abdelnur (2013). *Anais do simpósio destoxificação e aproveitamento das tortas de Pinhão manso e Mamona*. EMBRAPA Agroenergía. Brazil.

MEADOWS, Donella H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jorgen; BEHREN, William W. (1972). *Los límites al crecimiento*. Fondo de Cultura Económica. México.

MILL, John Stuart (1857). *Principle of Political Economy*. Vol. II. Reino Unido.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2006). *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Embrapa Informação Tecnológica. Secretaria de Produção e Agroenergía. Segunda Edição. Brasil.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2015). *Usos de Biodiesel no Brasil e no Mundo – 1ª Edição*. Relatório apresentado à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel em junho de 2015. MAPA. Brasil.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (2014). *Balance energético nacional*. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (Enero de 2015). *Relatório do Mercado de Derivados de Petróleo*. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis Departamento de Combustíveis Derivados de Petróleo. Brasil.

MORALES, Ibarra, Marcel (2010) *Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable*. Instituto Nacional de Investigación Forestales Agrícolas y Pecuaria. México.

NAREDO, José Manuel (1987). *La economía en evolución*. Siglo XXI. Madrid.

Organización de las Naciones Unidas (junio de 1972). *Declaración de las Naciones Unidas sobre el medio humano: proclamaciones y principios*. Nueva York.

OCDE/FAO (2013). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013-2022*. Universidad Autónoma Chapingo. México.

OECD/FAO (2015). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. OECD Publishing, Paris.

ONG REPÓRTER BRASIL (Abril de 2009). *O Brasil dos Agrocombustíveis: Impactos das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade-Soja e Mamona*. Centro de monitoramento dos Agrocombustíveis. Brasil.

ONG REPÓRTER BRASIL (Setembro de 2008). *O Brasil dos Agrocombustíveis: Impactos das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade-Palmáceas, Algodão, Milho e Pinhão Manso* Centro de monitoramento dos Agrocombustíveis. Brasil

OPEP (2012). *World Oil Outlook*. Organización de los Países Exportadores de Petróleo. Viena.

PACHECO, Luiz Carlos (2012). *Soja, producción y comercialización en Brasil*. Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina

PAHL, Greg (2008). *Biodiesel: Growing a New Energy Economy*. Chelsea Green Publishing Company. EE.UU.

PIMENTEL, David (1993). *Economics and energetics of organic and conventional farming*. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, vol. 6, nº 1, PNUMA. Nueva York.

PNUD (2013). *El ascenso del Sur: Progreso humano en un mundo diverso*. Informe sobre Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York.

PNUMA (2007). *Iniciativa financiera para la energía sostenible*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nueva York.

PUERTO RICO|, Julieta Andrea (2008). *Programa de Biocombustíveis no Brasil e na Colômbia: uma análise da implantação, resultados e perspectivas*. Universidad de Sao Paulo. Brasil.

REMBIO (2011). *La Bioenergía en México: Situación Actual y Perspectivas*. Red Mexicana de Bioenergía. México.

REN21 (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. REN21 Secretariat. Francia

REYES, Tépach M (2013). *Análisis de los precios y de los subsidios a las gasolinas y el diesel en México, 2007-2013*. LXII Legislatura Cámara de Diputados. México.

RICO Ponce, Héctor Rómulo *et al.* (2011). *Guía para cultivar higuierilla (Ricinus communis L.) en Michoacán*. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Valle de Apatzingán. México

RODRIGUES, Rodrigo A. (2006). *Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade*. En: *O futuro da indústria: biodiesel: colección de artículos*. Brasília: MDIC/IEL. Brasil

ROMEIRO, Ademar Ribeiro (1998). *Meio ambiente e dinamica de inovações na agricultura*. Annablume. FAPESP. Sao Paulo.

ROTHKOPF, Garten (2007) *A blueprint for green energy in the Americas: Strategic Analysis of opportunities for Brazil and the Hemisphere*. Interamerican Development Bank. EE.UU.

- RUNGE, Ford y Senauer, Benjamin (Mayo-Junio de 2007). *How biofuels could starve the poor*. Foreign Affairs. EE.UU.
- SACHS, Ignachy (2007). *A revolução energética do século XXI*. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Brasil.
- SAMPEDRO, José Luis (1982). *El desarrollo, dimensión patológica de la cultura industrial*. Planeta. España.
- SANTOS VARELA, Alejandro (Octubre 2013). *El mercado de las Energías Renovables en Brasil*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Brasilia. España.
- SCHUMACHER, Ernest Friedrich (1999). *Small Is Beautiful: Economics As If People Mattered: 25 Years Later...With Commentaries*. [Hartley & Marks Publishers](#)
- SENER (2016) *Balance Nacional de Energía 2015*. Secretaría de Energía. México.
- SERAFY, Salah el (1989). *The proper calculation of income from depletable natural resources*. World Bank. Washington.
- SINGER, Clifford E. (2008). *Energy & International War: From Babylon to Baghdad & beyond*. World Scientific Series on Energy and Resource Economics. Estados Unidos.
- SOLÍS Bonilla, José Luis *et al.* (Febrero-Marzo de 2016). *Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuera (Ricinus communis L.) en Montecillo, Estado de México*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7, núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- STERN, Nicholas (2006). *The Economics of Climate Change*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- TACHINARDI, Maria-Elena (Mayo 2006). *Por que o Brasil não agarra logo essa chance*. Revista Época. Núm. 13. Brasil.
- THE ECONOMIST (28 de agosto de 2010). *El milagro del Cerrado*. The Economist Newspaper. Reino Unido.
- THE FREEDONIA GROUP (Abril de 2009). *World Diesel Engines: Industry study with forecast for 2012 & 2017* EE.UU.
- ULLANOWICZ, Robert E. (1997). [Ecology, the Ascendent Perspective](#). Columbia University Press.
- UN HABITAT (2007). ONU. *State of the World's Cities Report 2006*. Nueva York.

VAVILOV, N. I. (1992). *Origin and geography of cultivated plants*. Traducido por: D. Löve. Cambridge University Press. Reino Unido

ZAMARRIPA C., Alfredo. y DÍAS, Hugo. (2008). *Áreas de potencial productivo del piñón *Jatropha curcas* L., como especie de interés bioenergético en México*. Oleaginosas en cadena. Boletín No. 16. México.

ZAMARRIPA C., Alfredo *et al.* (2010). *Balance energético en *Jatropha curcas* L. para la producción de biodiesel*. Resumen en V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, San Francisco de Campeche, México. 2010.

ZAMARRIPA, C., Alfredo (2011). *Informe final de proyecto: Estudio de Insumos para la obtención de Biocombustibles en México*. Convenio de colaboración SAGARPA-INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

REFERENCIAS WEB

Addison, K. (2002). *Biofuels: supplies and suppliers*. Journey to forever. EE.UU. Consultado el 2 de octubre de 2017. Disponible en:

<http://www.journeytoforever.org/biofuel>.

Biodiesel: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (s.f.). Consultado el 11 de enero de 2014, del sitio web del Ministerio de Minas e Energía del gobierno de Brasil:

<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/pnpb.html>

BARCENA, Alicia & Byanyima, Winnie (25 de enero del 2016). *América Latina y el Caribe es la región más desigual del mundo. ¿Cómo solucionarlo?* Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Chile. Fecha de consulta de 2 de octubre de 2016. Disponible en:

<http://www.cepal.org/es/articulos/2016-america-latina-caribe-es-la-region-mas-desigual-mundo-como-solucionarlo>

BHERING, Leonardo (Agosto/Septiembre 2010). *O potencial da macaúba como oleífera para biocombustíveis*. biodiésel Brasil. Fecha de consulta 1 de septiembre de 2014. Disponible en:

<http://www.biodieselbr.com/revista/018/direto-do-laboratorio-18.htm>

BUDNY, Daniel, y Sotero, Paulo (Abril de 2007). *Brazil Institute Special Report: The Global Dynamics of Biofuels*. Brazil Institute of the Woodrow Wilson Center. http://www.wilsoncenter.org/topics/pubs/Brazil_SR_e3.pdf.

CNNEXPANSION [en línea]. Refinería, el gran pendiente en AL. Economía. México. 17 de noviembre de 2013. Fecha de consulta 10 de agosto de 2014. Disponible en:

<http://www.cnnexpansion.com/economia/2013/11/17/refinerias-el-grillete-en-latinoamerica>

DE AZEVEDO FILHO, Joaquim Adelino *et al* (2012) *Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética*. Pesquisa & Tecnologia. Vol.9. No. 2. APTA REGIONAL. Governo de São Paulo. Brasil. Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2014. Disponible en:

http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1275&Itemid=284

GLOBO G1(En línea). Petrobras gastará 140% maíz como importacao de combustível até 2020. Economía Negocios. 25 de febrero de 2014. Fecha de consulta 11 de agosto de 2014. Disponible en:

<http://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/2014/02/petrobras-gastara-140-mais-com-importacao-de-combustivel-ate-2020.html>

OBERLANDER, Diatar *et Al* (24 de Agosto de 2008). *Acrocomia aculeata: a sustainable oil crop*. Rural 21 The International Journal for Rural Development (En Línea). Alemania. Fecha de consulta 20 de agosto de 2014. Disponible en:

<http://www.rural21.com/english/header-navigation/about/>

OECD/FAO (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. OECD Publishing, Paris. Fecha de consulta 30 de septiembre de 2017. Disponible en:

http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en

PARRAGA, Mariana (17 de noviembre de 2013). Análisis: América Latina aumenta su dependencia del combustible de EE. UU. Reuters América Latina (En línea). EE.UU. Fecha de consulta 13 de agosto de 2014. Disponible en:

<http://lta.reuters.com/article/idLTASIE9AG00W20131117>

Presidencia de la República de Brasil (2003). *Relatorio do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de Óleo Vegetal: Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia*. Brasilia. Disponible en:

www.biodiesel.gov.br