



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL  
DE LA BIOMASA EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

FABIÁN SAN JUAN GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS: Dra. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ



MÉXICO D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres:

Fabián Daniel San Juan y Ofelia García

Por ser los pilares más importantes de mi vida

A mis hermanas:

Ericka y Rosalinda

por apoyar incondicionalmente toda la vida.

A mi pareja:

Laura gracias por darme el cariño

y el amor que me hizo tener la fuerza para terminar la carrera.

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por brindarme un apoyo incondicional y por animarme a continuar aún en los momentos más difíciles de mi vida y alentarme a ser una mejor persona, los amo con todo el corazón, este trabajo es un homenaje para ustedes.*

*A mis hermanas Ericka y Linda que me han brindado cariño y comprensión a lo largo de mi vida y que aunque nunca entendieron nada de mi carrera me dieron fuerza para seguir siempre adelante.*

*A mi novia Laura, que es una persona muy importante en mi vida y que llegó en el momento más crítico de la carrera para darme ese empujón que me levantó los ánimos y me impulsó a terminar mis estudios. Te amo Peke.*

*A mis amigos y compañeros de carrera, ya que con el apoyo mutuo que nos brindamos salimos de muchos problemas, nos ayudamos a escoger profesores, sortear exámenes y proyectos y que a pesar de todo pasamos buenos momentos, nunca olvidaré a Lalo, Héctor, Erik, René, Heriberto, Luis (Soberanes), Néstor, Alex, Víctor, Lupe, Gustavo y muchos más.*

*A mis primos Alfonso, Carlos y Fernando, que siempre me ayudaron moralmente y que nunca olvidaré todos los momentos que vivimos juntos, saben que cuentan conmigo siempre.*

*A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por darme las herramientas y los conocimientos necesarios para llegar a ser un profesional competitivo y con valores éticos.*

*A la Doctora Alejandra Castro González por darme un gran apoyo en la elaboración de esta tesis y por haber tenido la oportunidad de estar en su clase, le doy las gracias de corazón.*

# Índice

Contenido	Página
Lista de Figuras	iv
Lista de Tablas	vii
Lista de unidades	viii
Lista de acrónimos	ix
Lista de compuestos	x
Resumen	xi
Capítulo 1: Introducción	1
Objetivo	4
Capítulo 2: Fundamentos	5
2.1 Justificación del uso de biocombustibles en México	6
2.2 El cambio climático global: Comprender el problema	6
2.3 Cambios en el clima	7
2.3.1 Efecto Invernadero	9
2.3.2 Gases efecto invernadero	11
2.4 Los gases efecto invernadero y el panorama de emisiones en México	12
2.5 El problema de las reservas petroleras en México	18
2.6 El Protocolo de Kyoto	22
2.7 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	25
2.7.1 Ciclo de proyectos del MDL	26
2.7.2 Costos de Transacción	27
2.7.3 Criterios para participar en el MDL	27
2.7.4 Barreras para los proyectos de energía renovable del MDL en México	28
2.7.4.1 Barreras para el desarrollo de energía renovable	31
2.7.4.2 Leyes que apoyan la energía renovable	31
2.7.4.3 Conclusión	33
2.8 Ley de Bioenergéticos en México	33
2.9 Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética	36
2.10 Mercado para la energía limpia	39
2.10.1 Alternativas de la energía limpia	40
2.10.2 Penetración de mercado	41
2.11 Análisis de ciclo de vida	42
2.11.1 ¿Qué es un análisis de ciclo de vida?	43
2.11.2 Objetivo y alcance	43
2.11.3 Inventario de ciclo de vida (ICV)	43
2.11.4 Evaluación del ciclo de vida	44
2.11.5 Interpretación	44
2.11.6 Usos y herramientas del análisis de ciclo de vida	44
2.11.7 El Software GaBi	44
2.11.8 El Software SimaPro	45
Capítulo 3: Estimación del potencial de energía a partir de biomasa en México	47
3. Biocombustibles	48
3.1 Biocombustibles sólidos	48
3.1.1 Carbón	48
3.1.1.1 Aspectos internacionales. El carbón en el mundo y sus principales reservas	50

3.1.1.2 Principales productores	52
3.1.1.3 Aspectos nacionales	53
3.1.2 Leña	54
3.1.2.1 Uso de tecnologías tradicionales	56
3.1.2.2 Efectos ambientales	56
3.2 Biocombustibles líquidos	57
3.2.1 Biodiesel	57
3.2.2 Bioetanol	63
3.2.3 Producción de etanol: Tendencias de diseño y oportunidades de integración	67
3.3 Biocombustibles gaseosos	72
3.3.1 Degradación anaerobia	73
3.3.2 El estado y el futuro de proyectos de destrucción de metano en México	77
3.3.2.1 Funcionamiento del digester	78
3.3.2.2 Requisitos previos	78
3.3.2.3 Interrupciones de comunicación	79
3.3.2.4 Cambio de metodología	80
3.3.2.5 Generación eléctrica	81
3.3.2.6 Barreras reguladoras	81
3.3.2.7 El futuro del desarrollo de proyectos de captura de metano	82
3.3.2.8 Conclusiones	83
3.4 Una prospectiva y escenarios propuestos del uso de bioenergía en México	83
3.4.1 Modelo para el sistema de planificación de alternativas energéticas de largo alcance (SPAELA)	85
3.4.2 Construcción de escenarios para el modelo SPAELA	87
3.4.2.1 Escenario Base	87
3.4.2.2 Escenarios alternativos para la bioenergía	89
3.4.2.3 Escenarios para la generación de electricidad	91
3.4.2.3.1 Escenario usando Incineradores de biomasa de ciclo combinado (IBCC)	92
3.4.2.3.2 Escenario del uso del bagazo en IBCC	93
3.4.2.3.3 Incineradores de residuos de biomasa	93
3.4.2.3.4 Biogás de rellenos sanitarios	93
3.4.2.4 Escenarios del sector de transporte	94
3.4.2.4.1 Etanol	94
3.4.2.4.2 Biodiesel	96
3.4.2.5 Sector residencial	98
3.4.3 Resultados del análisis de escenarios	100
3.4.3.1 Generación eléctrica	100
3.4.3.2 Sector transporte	101
3.4.3.2.1 Etanol	101
3.4.3.2.2 Biodiesel	102
3.4.3.2.3 Etanol y biodiesel	102
3.4.3.3 Sector residencial	103
3.4.3.4 Resultados generales	105
3.4.3.5 Conclusiones y recomendaciones	106
Capítulo 4: Estado del arte de tecnologías usadas para biomasa en México y el mundo	109
4.1 Tecnologías de conversión disponibles	110

4.1.1 Leña	110
4.1.1.1 Fogón tradicional	111
4.1.1.2 Estufas Lorena	112
4.1.1.3 Estufas Patsari	113
4.1.2 Carbón	113
4.1.3 Biodiesel	114
4.1.4 Bioetanol	116
4.2 Proyectos en marcha y financiamientos	118
4.2.1 Leña	118
4.2.2 Biogás	119
4.2.3 Bioetanol	121
4.2.4 Biodiesel	123
4.3 Tierras de cultivo necesarias para la producción de biocombustibles	126
4.4 Los biocombustibles, el medio ambiente y análisis de ciclo de vida	127
4.5 Los biocombustibles y la seguridad alimenticia	133
4.6 Desarrollo rural	138
4.7 Competencia por recursos acuíferos	138
4.8 El futuro de los biocombustibles	139
Capítulo 5: Costo beneficio	140
5.1 Leña	143
5.2 Carbón vegetal	144
5.3 Bioetanol	149
5.4 Biodiesel	151
5.5 Biogás	154
Capítulo 6: Desarrollo de la investigación y capacitación para el uso de la biomasa en México	161
6.1 Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU)	162
6.2 Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA)	166
6.3 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	168
6.4 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)	168
Conclusiones	172
Definiciones	181
Bibliografía	183

## Lista de Figuras

Número	Título	Página
Figura 1.1	Contribución porcentual de la emisiones históricas por región	2
Figura 1.2	Emisiones históricas de carbono por país en el periodo 1900-2000	3
Figura 2.1	Variaciones en la concentración de CO <sub>2</sub> en la atmosfera y el incremento de la temperatura a nivel mundial	8
Figura 2.2	Diversas estimaciones de deforestación en México	10
Figura 2.3	Variaciones de la temperatura en la ciudad de Guadalajara a lo largo del siglo XX	10
Figura 2.4	Variaciones de la temperatura en la ciudad de México a lo largo del siglo XX	10
Figura 2.5	Efecto invernadero	12
Figura 2.6	Emisiones de CO <sub>2</sub> a nivel mundial según su origen en el periodo de 1800-2004	13
Figura 2.7	Emisiones de CO <sub>2</sub> a nivel nacional según su origen en el periodo de 1990-2003	13
Figura 2.8	Contribución por categoría de emisión en el periodo 1990-2002	14
Figura 2.9	Emisiones por tipo de gas en el periodo 1990-2002	17
Figura 2.10	Distribución actual de las reservas petroleras en el mundo	18
Figura 2.11	Proyección de la demanda de energía en los próximos 5 años	19
Figura 2.12	Rangos de consumo de los 10 principales países consumidores de petróleo en 2006	19
Figura 2.13	Contribución de países industrializados en 1990 de GEI	24
Figura 2.14	Variación de los precios de los bonos de carbono de los últimos años	26
Figura 2.15	Diagrama de flujo para solicitar proyectos de MDL	27
Figura 2.16	Evolución de los precios del petróleo en México en el periodo 1975-2009	40
Figura 3.1	Distribución de las reservas de todo tipo de carbón en el mundo	52
Figura 3.2	Estructura de la producción de energía primaria en México en 2007	54
Figura 3.3	Consumo mundial de madera para energía en 2000	55
Figura 3.4	Diagrama de flujo del proceso de producción de biodiesel	58
Figura 3.5	Esquema global de la reacción de alcoholísis	59
Figura 3.6	Esquema de reacción de la metanólisis	60
Figura 3.7	Materias primas para la producción de biodiesel	60
Figura 3.8	Producción mundial de aceites vegetales en 1995	61
Figura 3.9	Ciclo de CO <sub>2</sub> usando biodiesel	62



Figura 3.10	Esquema general de fabricación de bioetanol	66
Figura 3.11	Proceso de obtención de biogás	74
Figura 3.12	Digestor doméstico	75
Figura 3.13	Digestor tipo hindú	76
Figura 3.14	Digestor chino	76
Figura 3.15	Estructura del SPAELA	86
Figura 3.16	Crecimiento del PIB en el periodo 1965-2000	88
Figura 3.17	Comparación del crecimiento del PIB y la demanda eléctrica entre 1965 y 2030	88
Figura 3.18	Árbol de demanda de energía usado por el SPAELA para simular escenarios alternativos	90
Figura 3.19	Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del bioetanol	96
Figura 3.20	Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del bioetanol	96
Figura 3.21	Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del biodiesel	97
Figura 3.22	Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del biodiesel	98
Figura 3.23	Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del sector residencial	99
Figura 3.24	Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del sector residencial	100
Figura 3.25	Consumo de combustible en los escenarios base, moderado y alto en el sector residencial	104
Figura 3.26	El futuro de penetración de biocombustibles en un escenario alto en sectores seleccionados	105
Figura 3.27	CO <sub>2</sub> evitado en un escenario alto en sectores seleccionados	106
Figura 4.1	Producción de biodiesel a nivel mundial entre 1991 y 2005	109
Figura 4.2	Producción de bioetanol a nivel mundial entre 1975 y 2005	109
Figura 4.3	Fogón de tres piedras	111
Figura 4.4	Fogón tipo U	112
Figura 4.5	Estufa Lorena	112
Figura 4.6	Estufa Patsari	113
Figura 4.7	Esquema de una central carboeléctrica	114
Figura 4.8	Equipo Biodys R50 para producir biodiesel	115
Figura 4.9	Esquema del proceso tradicional de producción de etanol	117

Figura 4.10	Vista de una destilería	118
Figura 4.11	Ubicación de los ingenios azucareros en México	121
Figura 4.12	Ingenios que poseen una destilería en México	122
Figura 4.13	Producción por hectárea de diferentes materias primas usadas para obtener bioetanol y biodiesel	127
Figura 4.14	Análisis de ciclo de vida para el biodiesel	128
Figura 4.15	Análisis de ciclo de vida para el bioetanol	128
Figura 4.16	Análisis de ciclo de vida para el biogás	129
Figura 4.17	Estimación neta de la reducción de emisión de GEI usando bioetanol y biodiesel	129
Figura 4.18	Ciclo cerrado de carbono	131
Figura 4.19	Eficiencia energética de la producción de bioetanol con diferentes materias primas en diferentes regiones del mundo	131
Figura 4.20	Número de personas desnutridas en países desarrollados en el periodo 1990-2002 y proyecciones al 2015	133
Figura 4.21	Distribución por regiones y países de personas desnutridas en el mundo entre 2001 y 2003	134
Figura 4.22	Proyección de expansión agrícola para producción de biodiesel para 2050	136
Figura 4.23	Índice de precios de los alimentos del año 2000 al año 2008	137
Figura 5.1	Rango de costos de producción para biodiesel y diesel en 2006	141
Figura 5.2	Costos de producción de bioetanol y gasolina en 2006	142
Figura 5.3	Suboperaciones en la producción de carbón vegetal	148
Figura 5.4	Comparación de costos de producción de etanol	151
Figura 5.5	Etapas intervinientes en la producción de biogás	155

## Lista de Tablas

Número	Título	Página
Tabla 2.1	Diversidad de ecosistemas en México	9
Tabla 2.2	Equivalentes de CO <sub>2</sub>	12
Tabla 2.3	Resumen del inventario nacional de GEI en México	15
Tabla 2.4	Potenciales de Calentamiento Global	16
Tabla 2.5	Emisiones en Gg de CO <sub>2</sub> equivalente para el periodo 1990-2002	17
Tabla 2.6	Variación y estimación de la duración de las reservas de petróleo en México	20
Tabla 2.7	Países incluidos en el anexo B del protocolo de Kyoto	23
Tabla 2.8	Proyectos mexicanos del MDL con cartas de aprobación hasta 2008	29
Tabla 2.9	Porcentaje de STEP en 2004	41
Tabla 3.1	Distribución de las reservas de carbón a nivel mundial en MTC, en 1990	51
Tabla 3.2	Fórmula estructural de los ácidos grasos usados en el biodiesel	58
Tabla 3.3	Estados de cosecha de cultivos para biodiesel	62
Tabla 3.4	Cultivos representativos para fabricación de biodiesel en México	63
Tabla 3.5	Microorganismos productores de alcohol etílico a partir de varios sustratos	65
Tabla 3.6	Rendimiento promedio de etanol a partir de diferentes tipos de biomasa	67
Tabla 3.7	Estados de cosecha de cultivos para bioetanol	68
Tabla 3.8	Cultivos representativos para fabricación de bioetanol en México	69
Tabla 3.9	Composición típica del Biogás	72
Tabla 3.10	Listado de bacterias que actúan en las diferentes etapas de producción de biogás	75
Tabla 3.11	Valores promedio de poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás	76
Tabla 3.12	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> según la base de datos del SPAELA	86
Tabla 3.13	Valores de las variables macroeconómicas en 1996	89
Tabla 3.14	El potencial de los recursos usados para la bioenergía en México en 2004	89
Tabla 3.15	Tecnologías emergentes y comerciales que permiten substituir combustibles fósiles por biocombustibles	91
Tabla 3.16	Resultados para los escenarios de bioenergía en la generación de electricidad	101
Tabla 3.17	Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso del etanol usado en el sector transporte	101
Tabla 3.18	Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso del biodiesel usado en el sector transporte	102
Tabla 3.19	Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso de etanol y biodiesel en el sector transporte	103
Tabla 3.20	Número de cocinas eficientes de leña, ahorro de combustible y emisiones de carbón evitadas en el sector residencial	104
Tabla 4.1	Principales productores de bioetanol y biodiesel en 2005	110
Tabla 4.2	Proyectos mexicanos de biogás del MDL con cartas de aprobación hasta 2008	120
Tabla 4.3	Requerimientos agro-climáticos de materia prima para obtención de biodiesel	124
Tabla 4.4	Proyección del consumo de biocombustibles en el sector transporte	126
Tabla 4.5	Estimación de los precios de diferentes biocombustibles en el presente y el en futuro	130
Tabla 4.6	Relación energética renovable/fósil con diferentes materias primas para obtención de bioetanol	132
Tabla 4.7	Comparación de la relación energética renovable/fósil para la producción de biodiesel de diferentes plantas oleaginosas	132
Tabla 5.1	Formas de obtención de la leña % de hogares	143
Tabla 5.2	Costo de producción de etanol	151
Tabla 5.3	Análisis de la sensibilidad del costo de producción del biodiesel a partir de la producción de soya	152
Tabla 5.4	Precio máximo del diesel	153

Tabla 5.5	Costo por galón de biodiesel considerando diversas materias primas	154
Tabla 5.6	Parámetros intervinientes en la producción de biogás	156
Tabla 5.7	Clasificación de costos en la producción de biogás	157

#### Lista de unidades

°C	Grados Celsius
BTU	British Thermal Unit
BTU/lb	BTU por libra
cm	Centímetro
Gg	Giga gramos
GJ	Giga Joule
GWh	Giga Watt hora
Ha/año	Hectárea por año
Kcal/Kg	Kilocaloría por kilogramo
Kcal/KWh	Kilocaloría por kilowatt hora
Kcal/m <sup>3</sup>	Kilocaloría por metro cúbico
Kg	Kilogramo
Kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg/GJ	Kilogramo por Giga Joule
Km	Kilometro
KTons/año	Kilo toneladas por año
kV	Kilo Volt
kVA	Kilo Volt Ampere
KWh	Kilowatt hora
L	Litro
L/Ha	Litro por hectárea
L/kg	Litro por kilogramo
L/Ton	Litro por tonelada
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mmbd	Miles de millones de barriles diarios
MTC	Millones de Toneladas de Carbón
MTC/año	Millones de Toneladas de Carbón por año
MW	Mega Watt
PJ	Peta Joules
PJ/año	Peta Joule por año
Ton/Ha	Tonelada por hectárea
TPM	Toneladas de Peso Muerto
US\$	Dólares americanos
US\$/Litro	Dólares por litro
US\$/m <sup>3</sup>	Dólares por metro cúbico
US\$/Ton	Dólares por tonelada
VAC	Volts corriente alterna

## Lista de acrónimos

AAUS	Unidades de Cantidades Atribuidas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BDA	Bases de Datos Ambientales
CCGN	Plantas de Ciclo Combinado que usan Gas Natural
CER	Certificados de Reducción de Emisiones
CEST	Turbina de vapor de condensación convencional
CIEco	Centro de Investigaciones en Ecosistemas
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
CoP3	Tercera reunión de la Conferencia de las Partes
EERE	Energy Efficiency and Renewable Energy
EPA	Environmental Protection Agency
ERUS	Unidades de Reducción de Emisiones
ETBE	Etil terbutil éter, por sus siglas en inglés Ethyl Tertiary Butyl Ether
FAME	Ésteres metílicos de ácidos grasos, por sus siglas en inglés Fatty Acid Methyl Esters
GEI	Gases Efecto Invernadero
GICC	Gasificación Integrada de Ciclo Combinado
GIRA	Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada
GT	Gases Traza
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática
ICPA	Índice de Crecimiento Promedio Anual
IPCC	International Panel of Climate Change
ISIC	International Standard Industrial Classification of All Economic Activities
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MTBE	Metil terbutil éter, por sus siglas en inglés Methyl Tertiary Butyl Ether
mtp	Millones de toneladas de petróleo equivalente
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
OMM	Ó WMO por sus siglas en ingles. Organización Meteorológica Mundial
PCG	Potencial de calentamiento global
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto Interno Bruto
RMUS	Unidades de Remoción
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEC	Securities and Exchange Commission
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SPAELA	Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance
STEP	Suministro total de energía primaria
UCA	Unidades de cantidades atribuidas
UNDP	United Nations Development Program
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UR	Unidades de remoción
URE	Unidades de reducción de emisiones
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
WEC	World Energy Council

## Lista de compuestos

CFC	Clorofluorocarbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Bióxido de Carbono
EtOH	Alcohol etílico
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
HFC	Hidrofluorocarbono
N <sub>2</sub>	Nitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NaOH	Hidróxido de Sodio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
O <sub>2</sub>	Oxígeno
PFC	Perfluorocarbono
SF <sub>6</sub>	Hexafloruro de Azufre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Azufre

## Resumen

El cambio climático no se considera como un problema que compete sólo a los países desarrollados. La última década de análisis, discusiones y negociaciones nos muestra con claridad el estrecho vínculo entre cambio climático y desarrollo sustentable. Es tarea de países como México, identificar las múltiples oportunidades que representa la participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo, pero sobre todo instrumentar a corto plazo aquellas acciones de política que simultáneamente nos brinden beneficios en la mejoría de la calidad de vida de nuestros habitantes a la vez que contribuimos reduciendo nuestras emisiones de GEI.

La sustitución total de combustibles fósiles por biocombustibles no es factible en México debido a la falta de infraestructura económica y de insumos para la fabricación de biocombustibles para satisfacer la demanda que se tiene de combustible fósil, la intención de esta investigación no es la sustitución, sino considerar el uso de los biocombustibles para lograr la reducción del consumo de combustible fósil, lo cual deriva en una notable reducción de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes. La producción de biocombustibles en México es aproximadamente:

- Leña: 45 millones de m<sup>3</sup>/año
- Bioetanol: 167.4 millones de litros/año
- Biodiesel: 7,785,000 lt/año
- Biogás: 111,071,428 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/año

El aprovechamiento en México de estos combustibles es 85% en la leña, 95% en el etanol, 55% en biodiesel y del 15% en biogás. Sólo se aprovechan de manera integral la leña y el biogás ya que el etanol y biodiesel son producidos en nuestro país pero exportados para los consumidores a gran escala de estos combustibles, entre ellos Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. México todavía no tiene un programa claro para el desarrollo de las energías renovables, en ese sentido no nos estamos preparando para este cambio.

El desarrollo de fuentes alternativas como lo son las biotecnologías para la generación de energía en México es un tema de gran importancia. Los hidrocarburos del país están programados para ser utilizados en gran medida para la producción de derivados.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo en el periodo de 1990-2000 fueron de 23.27 mil millones de toneladas. América del Norte representa el 38.2%, Asia con 20.2%, Europa con 18.2%, África con 2.2% y América del Sur con 1.8%.



Figura 1.1

Del total de carbono emitido el siglo pasado 10 países contribuyeron con 82.8% de las emisiones y el resto del mundo contribuyó con el 17.2%. México emitió 2,527 millones de toneladas de carbono que corresponden al 1% de las emisiones totales durante el periodo considerado (1990-2000), ubicándose en la posición número 35 junto con la ahora República Checa y Bélgica cuyas emisiones fueron similares, como se muestra en la figura 1.2 (Tovar, 2003).



El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero, México todavía no tiene un programa claro para el desarrollo de las energías renovables, en ese sentido no nos estamos preparando para este cambio.

El desarrollo de fuentes alternas como lo son los biocombustibles para la generación de energía en México es un tema de primordial interés ya que las reservas de hidrocarburos del país están programadas para 9 años, agregando a esto la generación de GEI que perjudican gravemente los ecosistemas y la salud de las personas.

Las emisiones históricas de carbono producto de la quema de combustibles fósiles en el periodo de 1900 a 2000, fueron de 261,233 millones de toneladas. Las emitidas por Norteamérica representaron 32.2%, siguen Europa occidental con 21.9%, Europa del este con 18.5%, Asia con 8.2%, Oceanía con 5.4%, Lejano oriente con 5.0%, Latinoamérica con 3.9%, Medio oriente con 2.5% y África con 2.4%, como se muestra en la Figura 1.1.

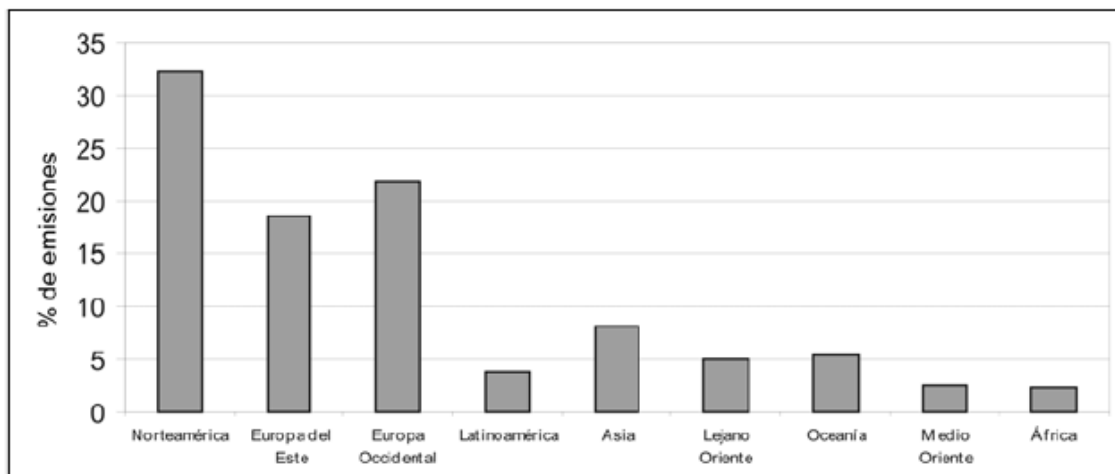


Figura 1.1 Contribución porcentual de la emisiones históricas por región (Arvizu, 2005)

Del total de carbono emitido el siglo pasado 19 países contribuyeron con 82.8% de las emisiones y el resto del mundo contribuyó con el 17.2%. México emitió 2,627 millones de toneladas de carbono que corresponden al 1% de las emisiones totales durante el periodo considerado (1900-2000), ubicándose en la posición número 15 junto con la ahora República Checa y Bélgica cuyas emisiones fueron similares, como se muestra en la Figura 1.2 (Arvizu, 2005).

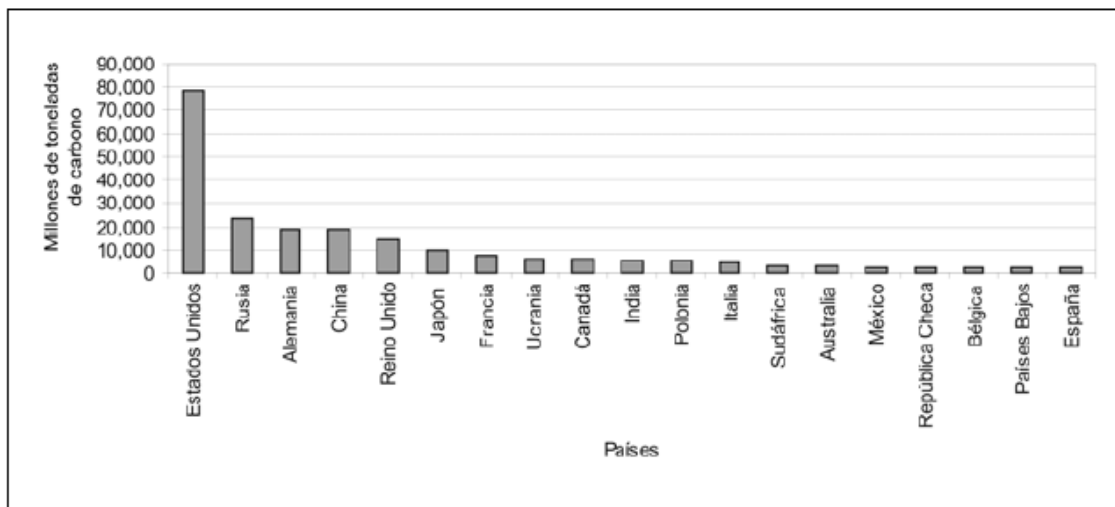


Figura 1.2 Emisiones históricas de carbono por país en el periodo 1900-2000 (Arvizu, 2005)

Nuestro país recibe ayuda también del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), un organismo internacional dedicado a realizar proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en países que no disponen de objetivos de emisiones según la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto ni son firmantes, mediante inversiones responsables de los países industrializados hacia los países en vías de desarrollo.

Las acciones de los gobiernos hacia estos temas son escasas, basta con mencionar que en México sólo existe una planta de biogás que opera en la ciudad de Monterrey, en el estado de Nuevo León, la cual abastece de energía al sistema de transporte colectivo metro de dicha ciudad. En cuanto a la producción mundial de biocombustibles se tiene que de la cantidad total, 39.5 millones de toneladas corresponden a la producción de bioetanol, en la que Estados Unidos se encuentra a la cabeza con 19.5 millones de toneladas (34.4 por ciento), seguido de Brasil con 14.9 millones de toneladas (12.6 por ciento), la Unión Europea con 1.8 millones de toneladas (45.8 por ciento) y China con 1.27 millones de toneladas (23.1 por ciento). De biodiesel, la producción total registrada en 2007 fue de 7,9 millones de toneladas, situándose como principal productor Alemania con 2 millones de toneladas, Estados Unidos con 1.2 millones, Francia con 1.15 millones e Italia con 550 mil toneladas (Fernández, 2007).

Dada esta panorámica del grave problema de nuestro país se ha decidido hacer un estudio exhaustivo sobre el potencial de la biomasa en México para la obtención de biocombustibles.

## **Objetivo**

Realizar estimaciones sobre el potencial de la biomasa para la producción de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos en México.

### 2.1.1 justificación del uso de biocombustibles en México

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos masivos, tarda a largo plazo en manifestar consecuencias complejas sobre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos), genera impactos económicos y políticos a escala mundial.

Debido al protocolo de Kyoto la mayoría de los países industrializados tienen ahora el compromiso de realizar un esfuerzo consistente multilateral en referencia al cambio climático,



## CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTOS

### 2.2 El cambio climático

Cuando un país tiene un clima más cálido que el promedio mundial, el cambio climático puede tener un efecto de valor medio de muchos años. El cambio climático puede ser causado por fenómenos internos, como inestabilidades en la atmósfera y/o océano, o por forzamientos externos, como puede ser un cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de  $CO_2$  cambian en el caso de terremotos, resultado de la actividad humana). Es por ello que la deforestación o la urbanización producen temperatura y cambio climático al afectar la humedad que puede ser retenida por el suelo. Los impactos de un clima anómalo o extremo en diversos sectores de la actividad humana son lo que han llamado a la sociedad, incluyendo sus instituciones de gobierno, a interesarse en el tema del cambio climático (Magaña, 2005).

## **2.1 Justificación del uso de biocombustibles en México**

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán a largo plazo e involucran interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos), procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial.

Debido al protocolo de Kyoto la mayoría de los países industrializados tienen ahora el compromiso de realizar un esfuerzo vinculante multilateral en referencia al cambio climático, nuestro país se sitúa como emisor de gases efecto invernadero (GEI) a nivel mundial. Lo más importante es que la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto también conllevará una nueva ronda de negociaciones que pueden producir acuerdos novedosos de espectros más amplios y durables. El texto del protocolo contiene en su diseño muchos aspectos valiosos que conservar, especialmente el uso de mecanismos flexibles para reducir emisiones de la manera más costo-efectiva.

Sin embargo, se necesitarán nuevos enfoques para movilizar a un mayor número de países, tanto desarrollados, como en vías de desarrollo para que participen activamente contribuyendo de manera justa, equitativa y oportuna a la mitigación de emisiones de GEI.

El cambio climático no se considera como un problema que compete sólo a los países desarrollados. La última década de análisis, discusiones y negociaciones nos muestra con claridad el estrecho vínculo entre cambio climático y desarrollo sustentable. Es tarea de países como México, identificar las múltiples oportunidades que representa la participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo, pero sobre todo instrumentar a corto plazo aquellas acciones de política que simultáneamente nos brinden beneficios en la mejoría de la calidad de vida de nuestros habitantes a la vez que contribuimos reduciendo nuestras emisiones GEI (Fernández y Martínez, 2005).

Para ver de manera más clara el problema, a continuación vamos a profundizar un poco en los conceptos de cambio climático y efecto invernadero.

## **2.2 El cambio climático global: Comprender el problema**

Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de un anomalía climática ocasionada por forzamientos internos, como inestabilidades en la atmósfera y/o océano; o por forzamientos externos, como puede ser un cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de GEI, cambios en el uso de suelo, etc.) resultado de la actividad humana. Es por ello que la deforestación o la urbanización provocan variabilidad o cambio climático al afectar la humedad que puede ser retenida por el suelo. Los impactos de un clima anómalo o extremo en diversos sectores de la actividad humana son lo que han llevado a la sociedad, incluyendo sus instituciones de gobierno, a interesarse en el tema del cambio climático (Magaña, 2005).

### 2.3 Cambios en el clima

El aumento de la concentración de los GEI reduce la eficiencia con la cual la Tierra re-emite la energía proveniente del sol al espacio. Así, la temperatura de la superficie terrestre se elevará para emitir más energía, y aunque parte de ella quede atrapada, suficiente energía saldrá al espacio para alcanzar el balance de radiación que mantiene relativamente estable el clima. Es claro, si las emisiones de GEI continúan aumentando, la temperatura de la superficie del planeta mantendrá una tendencia a aumentar su temperatura (Carabias, 2000). Aún si las emisiones de estos gases se estabilizan, los efectos del calentamiento perdurarán mucho tiempo, pues los gases de este tipo tienden a permanecer muchos años en la atmósfera. Cambios significativos en el balance radiativo de la tierra, incluyendo aquellos debidos al aumento de la concentración de GEI, alterarán la circulación del mar y la atmósfera y, consecuentemente, el ciclo hidrológico, lo que se manifestará como cambios en la precipitación y temperatura de la superficie (Magaña, 2005).

Hoy en día no queda duda que la temperatura global del planeta está aumentando y de que los regímenes de lluvia están cambiando. Nunca como ahora, cambios tan drásticos en el clima se produjeron en escalas tan cortas de tiempo (décadas). De mediados del siglo XIX a 2001, la actividad humana ha tenido resultados en los aumentos globales de temperatura del orden de  $0.6\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ . Todos estos efectos se ven reflejados en el deshielo de los polos y el aumento anual de la temperatura (IPCC, 2001).

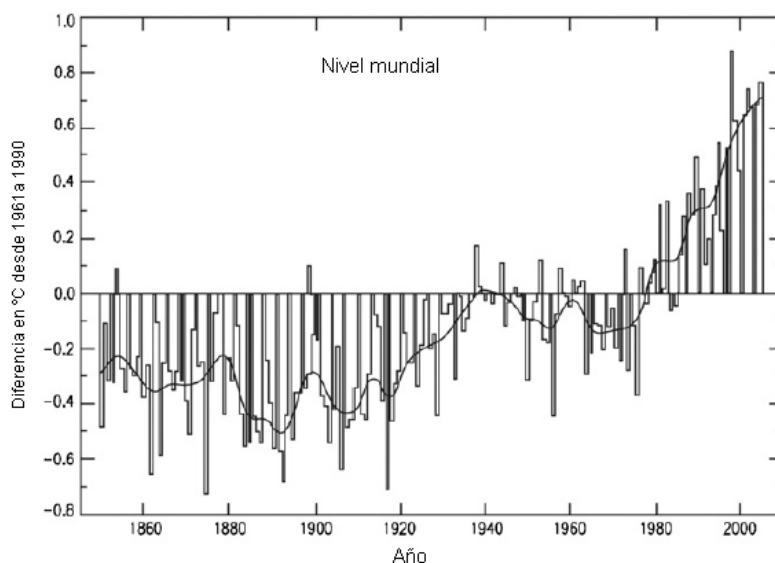
Es probable que muchas de las manifestaciones del cambio climático en países como México se asocien a la tala inmoderada de nuestros bosques o el abuso de nuestro medio ambiente. En ese sentido, nuestra responsabilidad es tan grande como la de aquellos responsables del aumento en las concentraciones de los GEI (Magaña, 2005).

Ya que no sólo tenemos bosques en nuestro país, sino que contamos con una gran diversidad de ecosistemas como pastizales, matorrales, arrecifes de coral, manglares, etc. (Tabla 2.1).

Los cambios de clima ocurren como consecuencia de la variabilidad intrínseca de sistemas climáticos y de la acción de factores externos, naturales o antropogénicos. Las emisiones de gases efecto invernaderos tienden a elevar la temperatura del planeta. El alza en las temperaturas alcanzó el 0.6 % con previsiones entre 2 a 4 °C hacia el final de este siglo. El 4º informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) reconoce que el calentamiento global es el resultado neto de actividades humanas.

Uno de los gases invernaderos más importantes es el CO<sub>2</sub>. Durante el siglo pasado, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> alcanzó sus niveles más altos, como se muestra en la Figura 2.1. Desde los tiempos preindustriales, las concentraciones atmosféricas de gases invernaderos han estado aumentando como consecuencia de actividades humanas. Esta alza es ocasionada principalmente por el uso insostenible de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo.

Esto hace que el empleo de energía de biomasa sea considerada como un elemento importante para la mitigación del efecto invernadero. El empleo de biocombustibles en motores de combustión internos no es reciente. En 1900 el inventor del motor diesel, Rudolf Diesel, pronostico la posibilidad de usar el aceite vegetal, como el aceite de cacahuete, en sus motores. La mayor dificultad para usar aceite vegetal como combustible era la formación de residuos, que redujeron el poder de los motores y exigieron mantenimiento frecuente para limpiar y desatascar los inyectores. En 1937, el proceso de transesterificación para el aceite vegetal fue patentado. Este proceso rompe las moléculas de aceite, mezcla los ácidos grasos con el alcohol y separa la glicerina, la causa de los depósitos en los motores.



**Figura 2.1 Variaciones en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y el incremento de la temperatura a nivel mundial (IPCC, 2007)**

En relación con el etanol, este era el combustible inicialmente considerado para los primeros motores de ciclo Otto, desarrollados en los primeros años de la industria automotriz. El desarrollo de derivados de aceite hizo alternativas interesantes. A finales de los años 20's, la antigua Estación Experimental sobre Combustibles y minerales, actualmente el Instituto Nacional de Tecnología, realizó algunas pruebas que usan el alcohol en un Ford de 4 cilindros, apuntando al uso del alcohol como una atractiva alternativa de energía.

Hoy, muchas de las dificultades técnicas causadas por la combustión de biocombustibles en motores de combustión interna, han sido solucionadas. Esto hace factible usar estos combustibles para el reemplazo parcial de combustibles fósiles en el sector de transporte (Escobar y col., 2008).

Desde finales de la década de 1970 se empezaron a publicar estimaciones de la deforestación en México. El rango de estimaciones de deforestación es muy amplio y va desde 75 mil a casi dos millones de hectáreas por año (Lund, 2002). Las estimaciones de la FAO desde los

80's han sido bastante consistentes con un rango entre 350 y 650 mil hectáreas por año (Figura 2.2).

Recientes análisis estiman que en México se perdieron 29,765 km<sup>2</sup> de bosque (superficie equivalente al estado de Guanajuato) de 1976 a 1993, mientras que de 1993 a 2000 se perdieron 54,306 km<sup>2</sup> (superficie equivalente al estado de Campeche). La tasa de deforestación aumentó del primer al segundo periodo, de 175 mil hectáreas a 319 mil hectáreas anuales (Velásquez, 2002).

La FAO documentó una deforestación de 314 mil hectáreas anuales de 2000 a 2005. Si bien esto se ha tomado como una buena noticia, existen varios problemas con esta estimación (FAO, 2005).

Según las estimaciones de escenarios de cambio climático propuestas para México por Magaña (Magaña, 2005), el clima del país al mediar el siglo XX será en términos muy generales más cálido (2 a 3 °C) y algo más seco sobre todo en la región norte y dentro del país donde prevalecen los climas áridos y semiáridos. Estos cambios se prevén para cuando se dupliquen los niveles de concentración de los GEI. La Figura 2.3 muestra un historial de las variaciones de la temperatura en la ciudad de Guadalajara a lo largo del siglo XX, mientras que la Figura 2.4 muestra el de la ciudad de México.

**Tabla 2.1 Diversidad de ecosistemas en México (Lund, 2002)**

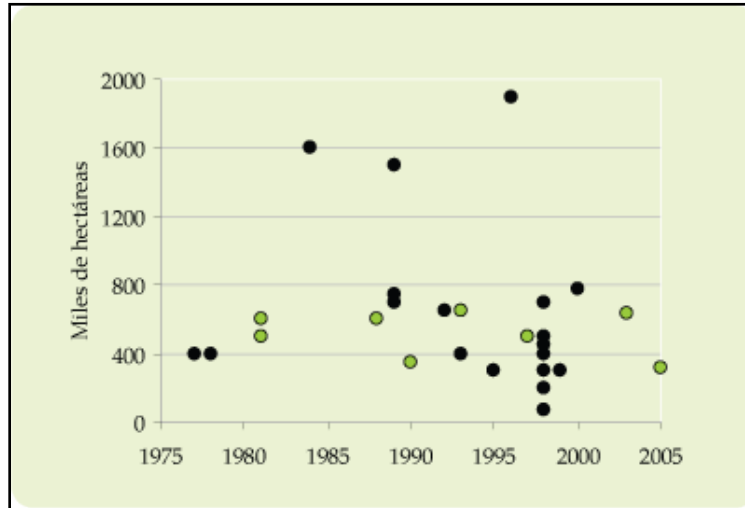
Formaciones	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Matorral	560,791	29.02
Bosques	331,236	17.14
Cultivos	325,057	16.82
Selvas	314,340	16.27
Pastizales inducidos y cultivados	225,135	11.65
Pastizales naturales	86,240	4.46
Otros tipos de vegetación	60,355	3.12
Vegetación hidrófila	19,887	1.03
Otras coberturas	9,467	0.49
<b>Total</b>	<b>1,932,508</b>	<b>100.00</b>

### 2.3.1 Efecto Invernadero

En la atmósfera y el clima actúan dos tipos de radiación claramente distintos: La luz visible originada en el sol y la radiación infrarroja emitida por la tierra. La enorme diferencia entre ellas se debe a la gran disparidad de temperaturas: El sol emite su radiación a 6 mil °C, en cambio los elementos de la Tierra (suelo, mar, casquetes polares, capas atmosféricas, nubes, etc.) lo hacen a temperaturas alrededor de 0 °C (Garduño, 2005).

La temperatura efectiva es el resultado neto del balance entre la radiación solar absorbida por la Tierra y la emitida por ella misma (Toharia, 1984).





Nota: Los círculos verdes son las estimaciones de la FAO

Figura 2.2 Diversas estimaciones de deforestación en México (Lund, 2002)

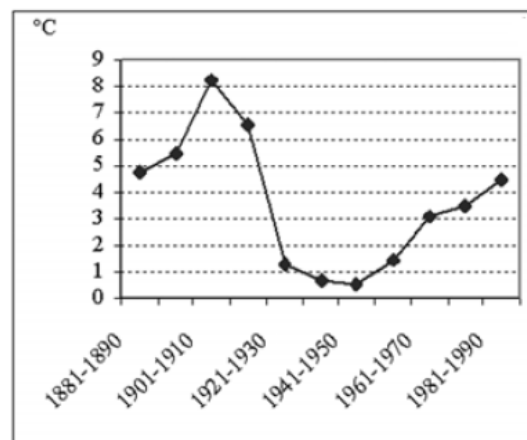


Figura 2.3 Variaciones de la temperatura en la ciudad de Guadalajara a lo largo del siglo XX (Magaña, 2005)

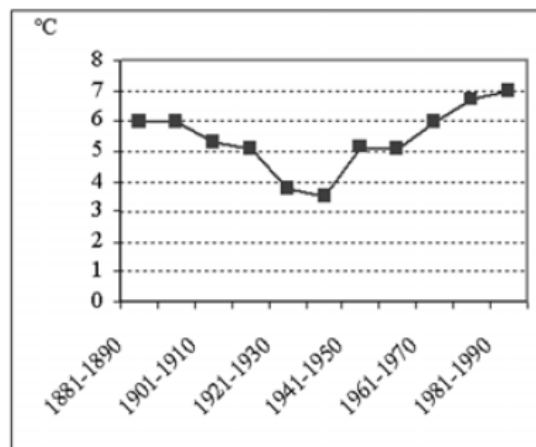


Figura 2.4 Variaciones de la temperatura en la ciudad de México a lo largo del siglo XX (Magaña, 2005)

El efecto invernadero es el resultado de que el aire es muy transparente para la radiación solar y muy opaco para la radiación terrestre. Es decir que la atmósfera es un filtro radiativo, que deja pasar los rayos solares; unos de ellos son absorbidos por la superficie terrestre, que se calientan en consecuencia y entonces emite la radiación terrestre, que es detenida por la atmósfera y las nubes. Las capas atmosféricas van sucesivamente absorbiendo, calentándose y re-emitiendo radiación térmica procedente de abajo. El resultado de este complejo mecanismo es sencillo; la atmósfera superficial es cálida y se va enfriando conforme uno asciende a través de ella provocándose los siguientes efectos:

- Aumento de la temperatura media del planeta
- Aumento de sequías en unas zonas e inundaciones en otras
- Mayor frecuencia de formación de huracanes
- Progresivo deshielo de los casquetes polares, con la consiguiente subida de los niveles de los océanos
- Incremento de las precipitaciones a nivel planetario pero lloverá menos días y más torrencialmente
- Aumento de la cantidad de días calurosos, traducido en olas de calor (Garduño, 2005; Hardy y col., 1986; Voituriez, 1994)

El nombre de efecto invernadero proviene de su similitud con las instalaciones construidas para cultivar plantas en un ambiente más cálido que el exterior (Garduño, 2005; IPCC, 2001).

Si la Tierra sigue este proceso de calentamiento, los glaciares de las montañas y los casquetes de hielo del polo norte y de la Antártida se fundirían en aproximadamente 150 años. Si no se para de calentamiento global el nivel del mar puede subir entre 20 y 40 cm a principios del siglo XXI, y luego continuaría aumentando aún más.

Un incremento minúsculo del nivel del mar podría tener consecuencias catastróficas, especialmente para algunos países. Holanda, por ejemplo, ha ganado gran parte de su territorio a las aguas y muchas zonas se encuentran por debajo del nivel del mar. Si el agua subiera inundaría todos estos territorios o bien obligaría el país a construir unos diques de contención que representarían un gasto muy elevado. Las islas Maldivas, en el océano Índico, también se encuentran a un nivel muy bajo, si el mar subiera su nivel un metro, provocaría que las islas desaparecerían por debajo de las aguas. Si el aumento del nivel del mar fuera 4 y 8 metros, las consecuencias serían aun más catastróficas (Vázquez, 2005).

### **2.3.2 Gases efecto invernadero**

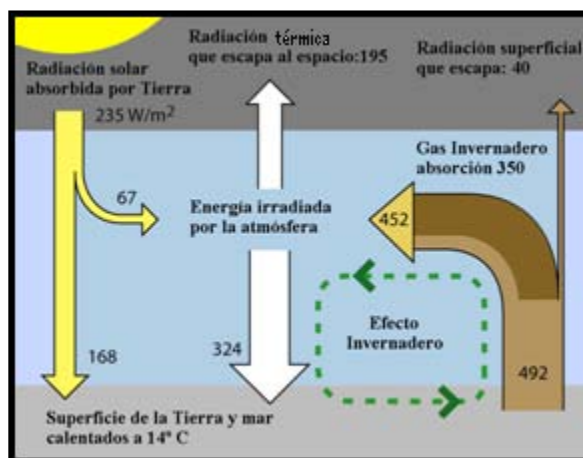
La atmósfera está compuesta en un 78% de  $N_2$ , 21% de  $O_2$  y 1% de diversos gases, siendo este 1% donde se encuentran los gases efecto invernadero (GEI). En general están constituidos por tres o más átomos. Los que forman moléculas diatómicas o monoatómicas son transparentes a la radiación terrestre. Los más importantes son el vapor de agua ( $H_2O$ ) y el bióxido de carbono ( $CO_2$ ); los demás GEI ( $CH_4$ ,  $NO_x$ , CFC's, etc.) se llaman gases de traza (GT) por su presencia ínfima en la atmósfera (Hardy y col., 1986). La Figura 2.5 ilustra la esencia del efecto invernadero.

El gas de referencia es el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por lo que las emisiones son ponderadas por el potencial de calentamiento global (PCG). La Tabla 2.2 muestra los equivalentes de bióxido de carbono de los principales Gases Efecto Invernadero.

El efecto invernadero siempre ha existido; es consecuencia natural de la composición natural de la atmósfera y por él tenemos en la tierra una temperatura relativamente alta, que ha propiciado el surgimiento y evolución de la vida. Sin embargo, esta situación ha sido alterada anormal y artificialmente por el progreso humano de los últimos siglos, debido a que la industrialización ha inyectado  $\text{CO}_2$  y GT a la atmósfera (Arvizu, 2005).

**Tabla 2.2 Equivalentes de  $\text{CO}_2$  (Arvizu, 2005)**

GEI	Potencial de Calentamiento Global
$\text{CO}_2$	1 (referencia)
$\text{CH}_4$	23
$\text{N}_2\text{O}$	296
HFC-23	12,000
$\text{CF}_4$	5,700
$\text{SF}_6$	22,200



**Figura 2.5 Efecto invernadero (Rohde, 2003)**

La Figura 2.6 muestra los cambios en las emisiones de  $\text{CO}_2$  a nivel mundial debidos a las diferentes fuentes de generación desde el año de 1800 hasta el año 2004, mientras que la Figura 2.7 muestra los cambios en las emisiones de  $\text{CO}_2$  a nivel nacional debidos a las diferentes fuentes de generación desde el año de 1990 hasta el año 2003.

#### 2.4 Los gases efecto invernadero y el panorama de emisiones en México

La más reciente estimación de las emisiones de GEI en México es el Segundo Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, 1994-1998 (INE-SEMARNAT, 2002).

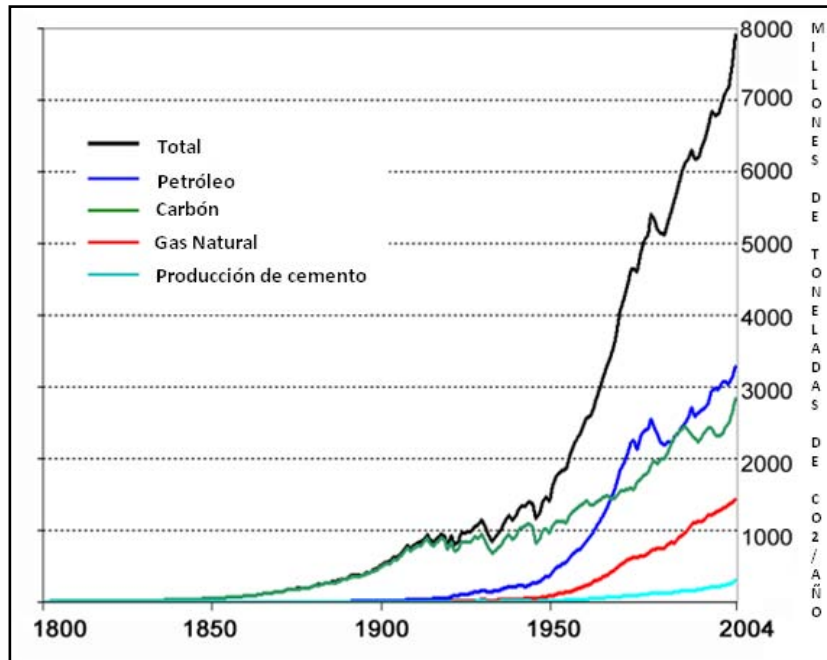


Figura 2.6 Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial según su origen en el periodo de 1800-2004 (INE-SEMARNAT, 2002)

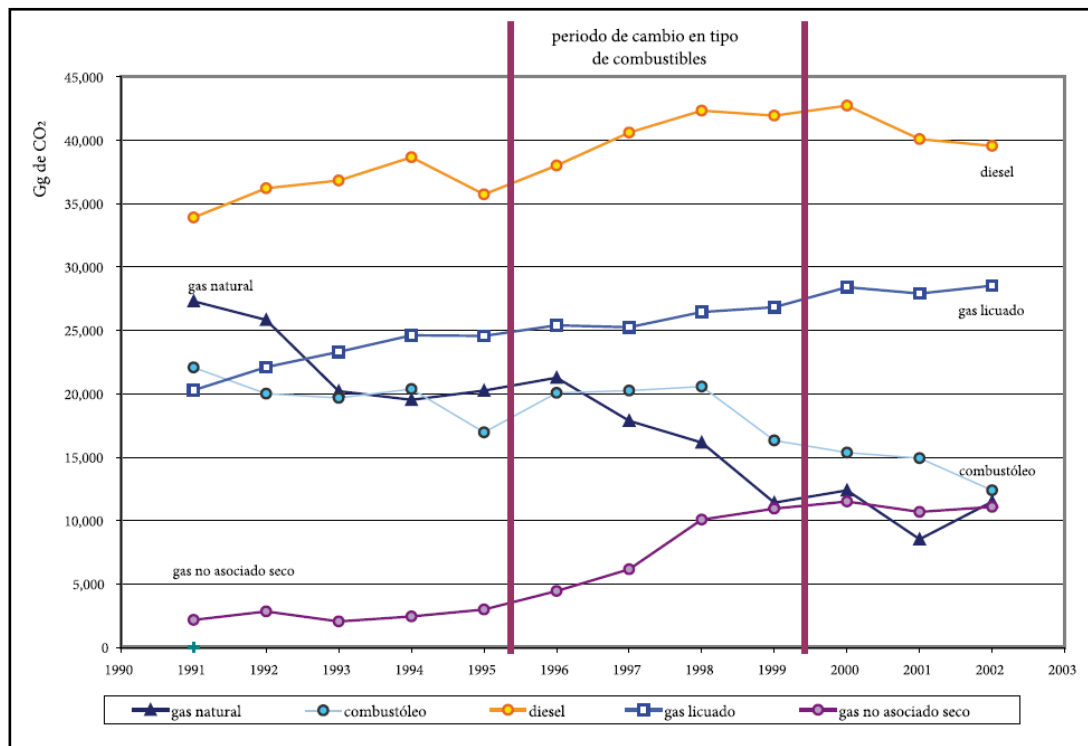


Figura 2.7 Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional según su origen en el periodo de 1990-2003 (INE-SEMARNAT, 2002)

Este esfuerzo ha incluido especialistas de diferentes dependencias, entre las que se encuentran: El Centro de Ciencias de la Atmósfera, el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Ecología de la UNAM; el Instituto Mexicano del Petróleo y el Instituto de Investigaciones Eléctricas,

coordinados todos por el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Este inventario incluye las emisiones de 1994, 1996 y 1998. La Tabla 2.3 presenta los datos obtenidos por el Segundo Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero en 1996.

De la Tabla 2.3 se puede observar que los GEI de mayor emisión en el país son el CO<sub>2</sub> con 514,048 Gg, después el CO y el CH<sub>4</sub>. El mayor productor de CO<sub>2</sub> es el cambio de usos de suelo y forestación con una producción de 152,302 Gg, el transporte es el segundo productor aportando 97,193 Gg, siendo este motivo una de las directrices de la presente tesis.

La mayor contribución a las emisiones totales proviene de la categoría de energía, que anualmente aporta en promedio el 72% de las emisiones totales para el período entre 1990 y 2002. En particular y dentro de esta categoría de emisión, el consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI en el país, ya que contribuye en promedio con 64% de las emisiones totales cada año (INE-SEMARNAT, 2002).

En términos de contribución al total (Figura 2.8), el cambio más marcado se presenta en la categoría de desechos, cuyas emisiones aumentan en un 97% entre 1990 y 2002.

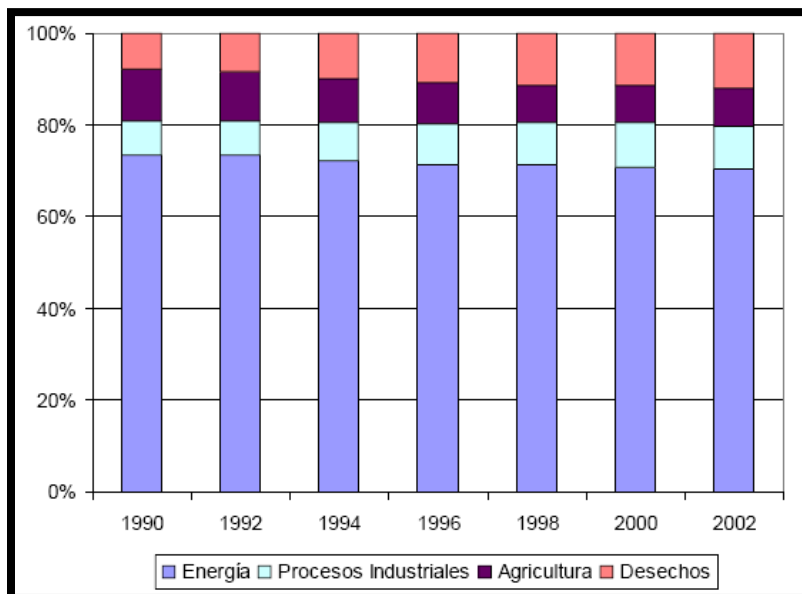


Figura 2.8 Contribución por categoría de emisión en el periodo 1990-2002 (INE-SEMARNAT, 2002)

Como resultado del incremento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y del impulso dado en la última década al tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales. Gran parte de este incremento se da entre 1990 y 1996, en donde las emisiones se elevan en un 59%; en los siguientes años, de 1996 a 2002, la tasa de crecimiento baja y tiende a estabilizarse, mostrando un incremento anual entre 1 y 4% (INE-SEMARNAT, 2002).

Tabla 2.3 Resumen del inventario nacional de GEI en México (Gg) (INE-SEMARNAT, 2002)

Categorías de fuentes de GEI	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NOx	CO	COVNM	SO <sub>2</sub>	HFC's
<b>Emisiones y remociones totales nacionales</b>	514048.055	7507.031	46.523	1123.467	8691.12	1070.758	1060.388	2.385
<b>1 Energía (combustión y fugitivas)</b>	314730.258	2208.918	9.913	1057.494	6784.268	808.661	1051.289	-
A Combustión	314730.258	85.133	9.913	1057.494	6784.268	808.661	1051.289	-
1 Transporte	97193.079	28.072	7.667	609.000	5091.683	644.173	68.506	-
2 Industria (ISIC)	62082.504	2.731	0.604	75.107	430.661	7.598	340.414	-
3 Industrias de la energía	38976.038	1.052	0.100	54.403	10.045	3.098	62.093	-
4 Generación de electricidad	82868.256	0.966	0.511	258.528	15.916	5.452	538.181	-
5 Residencial	22361.465	52.219	0.992	46.510	1233.814	147.813	9.350	-
6 Comercial	5827.704	0.055	0.010	9.107	0.968	0.162	15.902	-
7 Agricultura	5421.211	0.038	0.028	4.838	1.181	0.365	16.842	-
B Emisiones fugitivas de combustible	-	2123.785	-	-	-	-	-	-
1 Petróleo y Gas Natural	-	2123.785	-	-	-	-	-	-
<b>2 Procesos industriales</b>	42015.581	4.606	3.255	7.466	70.448	262.097	9.099	2.385
A productos minerales	16659.682	-	-	-	0.001	245.671	8.452	-
B Industria química	3806.203	4.606	3.255	7.144	20.828	16.341	0.409	-
C Producción metálica	21549.696	-	-	0.321	49.619	0.085	0.237	-
3 Solventes y uso de otros productos	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>4 Agricultura</b>	-	2170.644	32.549	12.715	223.870	-	-	-
A Fermentación entérica	-	2080.67	-	-	-	-	-	-
B Manejo de abono	-	65.780	0.021	-	-	-	-	-
C Suelos agrícolas	-	-	32.197	-	-	-	-	-
D Quema in situ de residuos agrícolas	-	10.660	0.352	12.715	223.870	-	-	-
<b>5 Cambio de uso de suelo y forestación</b>	157302.216	184.290	0.806	45.793	1612.535	-	-	-
A Incorporación de bosques	-30206.831	-	-	-	-	-	-	-
B Incorporación de tierras abandonadas	-11784.385	-	-	-	-	-	-	-
C Emisiones directas por despalme	52139.573	-	-	-	-	-	-	-
D Emisiones retrasadas por despalme	57932.859	-	-	-	-	-	-	-
E Emisiones de suelos	89221.000	-	-	-	-	-	-	-
<b>6 Residuos</b>	-	2938.573	-	-	-	-	-	-

En la Tabla 2.4 se dan a conocer los potenciales de calentamiento global (PCG) de los GEI en México, los cuales son indicadores de la longevidad de los GEI en la atmósfera. Siendo CFC-12 el gas de mayor residencia en la atmósfera, pero también es de los GEI con menor nivel emisión en el país.

La Tabla 2.5 muestra el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo de 1990-2002, estas emisiones incluyen los seis principales GEI contemplados por el protocolo de Kyoto (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC's, PFC's y SF<sub>6</sub>).

En términos de contribución al total (Figura 2.9), el cambio más marcado se presenta en la categoría de desechos, cuyas emisiones aumentan en un 97% entre 1990 y 2002, como resultado del incremento en la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y del impulso dado en la última década al tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales. Gran parte de este incremento se da entre 1990 y 1996, en donde las emisiones se elevan en un 59%; en los siguientes años, de 1996 a 2002, la tasa de crecimiento baja y tiende a estabilizarse, mostrando un incremento anual entre 1 y 4% (INE-SEMARNAT, 2002).

**Tabla 2.4 Potenciales de Calentamiento Global (Ruíz y Cruz, 2005)**

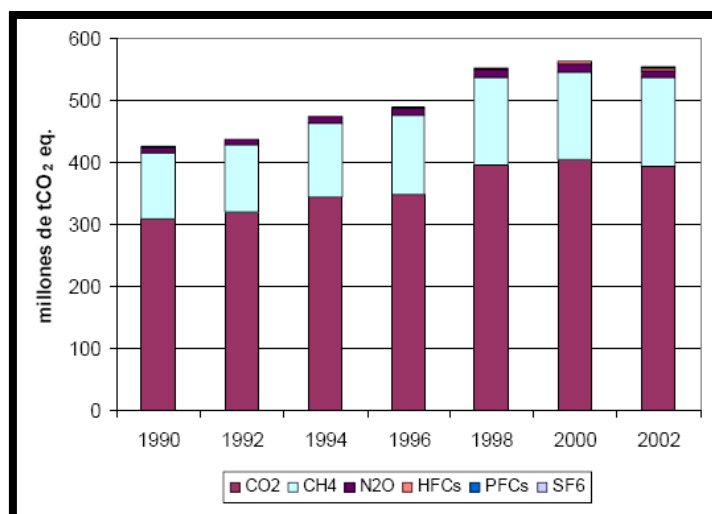
Gas	Nomenclatura	Vida media (años)	PCG		
			Horizonte 20 años	Horizonte 100 años	Horizonte 500 años
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	-	1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12	62	23	7
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	114	275	296	156
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	10,200	10,600	5,200
HFC-21	CHCl <sub>2</sub> F	2	700	210	65

En cuanto a los gases considerados, el principal GEI es el CO<sub>2</sub>, el cual registró un incremento del 28% con respecto a 1990 debido principalmente al consumo de energéticos en los sectores de transporte y la industria generadora de electricidad; seguido del CH<sub>4</sub> que tiene un incremento del 34% con respecto a 1990 siendo las emisiones fugitivas por petróleo y gas, la fermentación entérica, los rellenos sanitarios y las aguas residuales los que contribuyen en las emisiones de este gas. Finalmente el N<sub>2</sub>O tiene un incremento del 16% con respecto a 1990, siendo la principal contribución para este gas las emisiones de los suelos agrícolas.

La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO<sub>2</sub> equivalente en el 2002 es la siguiente: La categoría de energía representó el 61% de las emisiones con 389,497 Gg; le siguen las categorías de USUCCS con 14% de las emisiones totales (89,854 Gg), desechos con 10% (65,584 Gg), procesos industriales con 8% (52,102 Gg) y agricultura con el 7% (46,146 Gg).

**Tabla 2.5 Emisiones en Gg de CO<sub>2</sub> equivalente para el periodo 1990-2002 (INE-SEMARNAT, 2002)**

Categoría de Emisión	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
1 Energía	312,027.2	321,835.9	342,899.6	349,430.6	394,128.8	398,627.3	389,496.7
1A Consumo de combustibles fósiles	279,863.7	291,045.5	308,931.8	311,197.1	351,760.2	356,796.3	350,414.3
1B Emisiones fugitivas	32,163.5	30,790.4	33,967.8	38,233.4	42,368.7	41,831.0	39,082.3
2 Procesos industriales	32,456.4	32,878.3	39,247.8	42,744.0	50,973.1	55,851.2	52,102.2
4 Agricultura	47,427.5	46,049.6	45,503.9	44,076.6	45,444.9	45,527.0	46,146.2
6 Desechos	33,357.2	36,953.4	46,862.6	52,894.9	62,655.9	63,219.8	65,584.4
Total	425,268.2	437,699.1	474,513.8	489,146.1	533,202.8	563,255.2	553,329.4



**Figura 2.9 Emisiones por tipo de gas en el periodo 1990-2002 (INE-SEMARNAT, 2002)**

En particular los sectores de la categoría de energía, como principal fuente de las emisiones, contribuyeron de la siguiente manera: La generación de energía representó el 24% de las emisiones totales del país, el transporte contribuyó con el 18%, el consumo de combustibles fósiles en la manufactura y la industria de la construcción aportó el 8%, el consumo en los sectores residencial, comercial y agrícola fue del 5%, mientras que las emisiones fugitivas de metano contribuyeron con el 6% de las emisiones totales. En conjunto, las fuentes fijas y de área, que incluye generación de energía, manufactura e industria de la construcción y otros sectores de la energía, sin contar el transporte representaron el 37% del total.

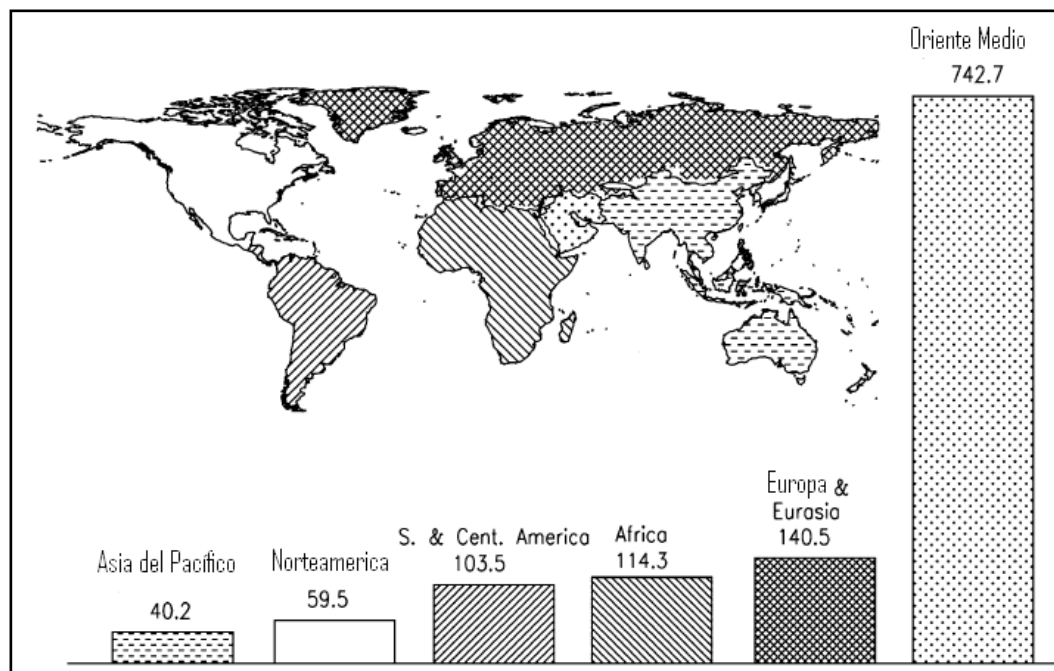
Las emisiones de GEI por gas en CO<sub>2</sub> equivalente son las siguientes: 480,409 Gg (74%) corresponden a CO<sub>2</sub>, 145,586 Gg (23%) son de CH<sub>4</sub>, 12,343 Gg (2%) corresponden a N<sub>2</sub>O, y el restante 1% se compone por 4,425 Gg de los HFC's, 405 Gg de los PFC's y 15 Gg de los SF<sub>6</sub> (INE-SEMARNAT, 2002).



## 2.5 El problema de las reservas petroleras en México

Las reservas de petróleo a nivel mundial están distribuidas de manera sumamente irregular. Sólo algunas áreas tienen características geológicas excepcionales que permiten la formación y la acumulación de cantidades significativas de petróleo.

El Oriente Medio concentra aproximadamente el 65 % de las reservas mundiales, mientras que Europa y Eurasia tienen el 11.7 %, África el 9.5 %, América Central y América del Sur el 8.6 %, Norteamérica el 5 %, y Asia y el Océano Pacífico el 3.4 %, como se muestra en la Figura 2.10.



**Figura 2.10 Distribución actual de las reservas petroleras en el mundo (BP, 2007)**

Un reciente estudio realizado por Exxon Movil (2004) presenta una proyección de la demanda a nivel mundial de energía en los próximos cinco años como se muestra en la Figura 2.11. Este estudio muestra la inminente reducción en la producción mundial de combustibles fósiles y la necesidad de usar fuentes de energía alternas que puedan contribuir a satisfacer dicha demanda de energía (Escobar y col., 2008).

Los analistas esperan que el consumo global de petróleo siga aumentando durante los próximos 30 años, de 85 millones de barriles por día (mmb/d) en 2006 a 118 mmb/d en 2030.

Ya siete de los 10 consumidores líderes mundiales de petróleo no producen bastante petróleo para satisfacer sus necesidades domésticas, como se muestra en la Figura 2.12. Durante los últimos años, los precios de petróleo se han elevado de \$25 USD por barril en enero de 2000 a más de \$140 USD por barril en el junio de 2008. La inestabilidad política en regiones petroleras, provisiones más apretadas de petróleo y los precios crecientes de petróleo han incitado a muchos países a diversificar su cartera de energía. Los biocombustibles han ganado la popularidad ya que

permiten una dependencia reducida de importaciones de petróleo y pueden ser promovidos como 'la energía limpia', satisfaciendo tanto seguridad energética como ambiente.

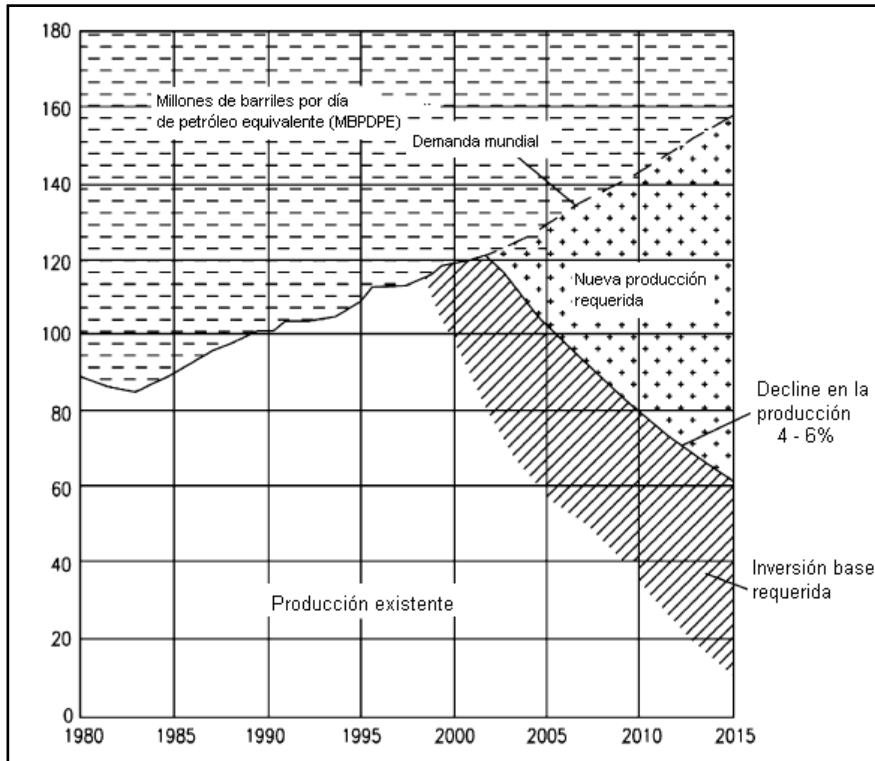


Figura 2.11 Proyección de la demanda de energía en los próximos 5 años (Exxon Movil, 2004)

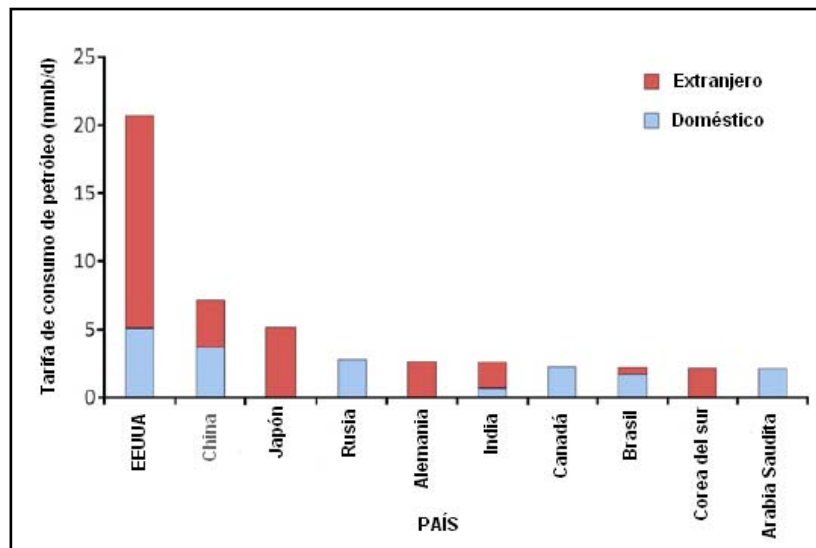


Figura 2.12 Rangos de consumo de los 10 principales países consumidores de petróleo en 2006 (Pin Koh y Ghazoul, 2008)

La producción de biocombustibles a gran escala fue promovida en Brasil, en donde la industria de biocombustibles fue creada por necesidad (durante la crisis de petróleo de los años 70's, cuando los precios del petróleo eran altos y los del azúcar bajos). Para lograr su dependencia

de provisiones extranjeras de petróleo, el (entonces militar) gobierno introdujo de forma obligatoria la gasolina de etanol generada a partir de caña de azúcar. Se gastaron miles de millones de dólares para desarrollar destilerías e infraestructuras de distribución, así como para promover la producción de E100 (bioetanol puro) para vehículos.

Hoy, más del 80 % de los vehículos vendidos en Brasil usan bioetanol que son abastecidos por 33,000 gasolineras que ofrecen tanto gasolina como bioetanol. Por el desarrollo de su industria bioetanol, Brasil fue capaz de reducir su cuenta de importación de petróleo en \$33 billones de dólares entre 1976 y 1996 (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

Se ha encontrado petróleo en todos los continentes excepto en el Antártico, sin embargo, el petróleo no se encuentra distribuido uniformemente en el subsuelo del planeta. Para que se puedan formar depósitos de hidrocarburos como petróleo y gas natural se deben presentar algunas condiciones básicas como la presencia de una roca generadora, una roca almacenadora, una roca sello, una trampa y condiciones apropiadas de presión y temperatura (Calderón, 2006).

Fue a partir de 1970, que la acción en conjunto de los principales productores árabes produjo un fuerte aumento de precios que se combinó con una serie de nacionalizaciones de los yacimientos petroleros, lo que terminó en un aumento significativo de las rentas económicas de los productores. En este sentido, el petróleo no sólo se constituyó como el motor del crecimiento de los países occidentales, sino también se erigió como una de las principales fuentes de ingresos de los países en desarrollo y para México no fue la excepción.

Sin lugar a duda el petróleo en México ha sido una fuente de recursos muy socorrida a lo largo de nuestra historia y no ha habido otra fuente que pueda sustituirla por lo que es necesario conocer las reservas de crudo mexicano existentes. La Tabla 2.6 muestra las variaciones y la estimación de la duración de las reservas de petróleo en México en el periodo 1998-2006.

**Tabla 2.6 Variación y estimación de la duración de las reservas de petróleo en México (PEP, 2006)**

Año	Reservas probadas (mmdb)	Producción (mmdb)	Reservas probables menos producción (mmdb)	Reservas (años)
1998	28,862.9	1,120.7	27,742.2	25.8
1999	24,700.1	1,060.7	23,639.4	23.3
2000	24,631.3	1,102.4	23,528.9	22.3
2001	23,660.4	1,141.4	22,519.0	20.7
2002	22,419.0	1,159.6	21,259.4	19.3
2003	15,123.6	1,123.3	14,000.3	13.5
2004	14,119.6	1,234.8	12,884.8	11.4
2005	12,882.2	1,216.7	11,665.5	10.6
2006	11,813.8	1,217.8	10,596.0	9.7

Lo primero que salta a la vista es la brutal reducción en las reservas durante los últimos años. Se puede inferir de este cuadro que si no se hubieran añadido nuevas reservas a las ya existentes en 1998 y que si el nivel de producción de ese mismo año se hubiera mantenido, las reservas se agotarían en el año 2027.

De la misma forma, si no se añaden reservas a las ya existentes en 2006 y se mantiene la producción de ese año, parecería que el petróleo mexicano se va a agotar en el año 2017, diez años antes de lo estimado en 1998 (Calderón, 2006).

La razón por la cual han caído las reservas probadas sin que se modifique sustancialmente el nivel de producción se debe a que al paso del tiempo, se han usado diferentes metodologías de cálculo. Los datos de años pasados, sin embargo, no son corregidos usando la nueva metodología, ya que quedan congelados como “cifras oficiales” en el anuario de PEMEX, el informe presidencial y otros documentos. Actualmente se usa la metodología de la Securities and Exchange Commission (SEC).

Las reservas probadas se modificaron a la baja en 2002, debido precisamente a que, de acuerdo con la aplicación de criterios de la SEC, PEMEX, tuvo que reclasificar 8,926 millones de barriles de sus reservas en la región de Chicontepec de “probadas” a “probables” el año pasado, ya que dichos criterios exigen que se haya explotado una reserva durante los últimos cinco años para que pueda ser considerada como probada. Chicontepec comenzó a ser explotado a finales de 2003 ya que se trata de yacimientos lenticulares que se agotan rápidamente y requieren muchos pozos para ser explotados integralmente. Estos niveles de producción de los yacimientos mexicanos son mayores a los recomendados. Si un yacimiento se sobreexplota, aún usando técnicas de reinyección de gas, nitrógeno o agua, se reduce su rendimiento total con respecto a una explotación más racional durante un mayor número de años (Barbosa, 2000).

Los analistas esperan que el consumo global de petróleo siga aumentando durante los próximos 30 años, de 85 millones de barriles por día (mmb/d) en 2006 a 118 mmb/d en 2030.

Ya siete de los 10 consumidores líderes mundiales de petróleo no producen bastante petróleo para satisfacer sus necesidades domésticas. Durante los últimos años, los precios de petróleo se han elevado de \$25 USD por barril en enero de 2000 a más de \$140 USD por barril en el junio de 2008. La inestabilidad política en regiones petroleras, provisiones más apretadas de petróleo y los precios crecientes de petróleo han incitado a muchos países a diversificar su cartera de energía. Los biocombustibles han ganado la popularidad ya que permiten una dependencia reducida de importaciones de petróleo y pueden ser promovidos como ' la energía limpia ', satisfaciendo tanto seguridad energética como ambiente.

La producción de biocombustibles a gran escala fue promovida en Brasil, en donde la industria de biocombustibles fue creada por necesidad (durante la crisis de petróleo de los años 70's, cuando los precios del petróleo eran altos y los del azúcar bajos). Para lograr su dependencia de provisiones extranjeras de petróleo, el (entonces militar) gobierno introdujo de forma obligatoria la gasolina de etanol generada a partir de caña de azúcar. Se gastaron miles de millones de dólares para desarrollar destilerías e infraestructuras de distribución, así como para promover la producción de E100 (bioetanol puro) para vehículos.

Hoy, más del 80 % de los vehículos vendidos en Brasil usan bioetanol que son abastecidos por 33,000 gasolineras que ofrecen tanto gasolina como bioetanol. Por el desarrollo de su industria de bioetanol, Brasil fue capaz de reducir su cuenta de importación de petróleo en \$33 billones de dólares entre 1976 y 1996 (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

El peligro no es que se acaben las reservas, siempre habrá reservas no encontradas a mayor profundidad o usando nuevas tecnologías que vuelvan a hacer productivo un yacimiento agotado, el problema es el tiempo. Si la producción es más rápida de lo que se reponen las reservas, puede llegarse primero a reducir las exportaciones, después a suspenderlas y finalmente a tener una escasez de crudo temporal que obligue al país a importar crudo (o sus derivados) a fin de satisfacer la demanda, que es una de las obligaciones constitucionales de PEMEX, con lo que terminaría el uso de PEMEX como fuente de financiamiento del gobierno (Calderón, 2006).

Por otra parte, el Dr. Pablo Mulás del Pozo ha presentado algunas definiciones. El corto plazo se refiere a los primeros 20 años, mientras que cuando se habla de largo plazo va más allá de los 25 años. En cuanto a sustentabilidad se refiere a proveer una calidad de vida para todos los habitantes de la tierra. Para el sector energético es imprescindible contar con una visión de largo plazo. Es importante considerar todo el entorno global. Considera que es imposible planear a largo plazo por las incertidumbres y todas las variables que se presentan; sin embargo, se deben proyectar y tomar en cuenta.

Sin entrar en muchos detalles, ¿Qué innovaciones están en desarrollo que pueden impactar al sector petrolero? Considerando que el cliente más importante para el sector es el transporte, y considerando que la opinión pública así como los gobiernos a nivel mundial están convencidos de que el cambio climático es una realidad y un gran reto, el Dr. Pablo Mulás está convencido de que existe una alta probabilidad de que transitaremos a la tecnología de los vehículos híbridos enchufables para terminar con vehículos con celdas de combustible reemplazando el motor de combustión. Esto implica un crecimiento todavía más acelerado en el uso de la electricidad como energético secundario con cierto decrecimiento en la tasa de crecimiento en el uso de petrolíferos. Seguramente las instalaciones fijas que utilicen combustibles fósiles continuaran operando de comercializarse los procesos de captura y secuestro del bióxido de carbono. Los pozos petroleros en México se explotan en un 30 % de su capacidad real. En cuanto al horizonte de tiempo de esta transición, mucho dependerá de la velocidad de reducción de los costos de estas nuevas tecnologías y de la severidad de las catástrofes climáticas que se avecinan, sobre todo en los países industrializados que es donde están en desarrollo estas tecnologías (Mulás, 2008).

## **2.6 El Protocolo de Kyoto**

El protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptado durante la tercera reunión de la Conferencia de las Partes (CoP3), en Kyoto, Japón, el 11 de diciembre de 1997. El protocolo establece la obligación legal vinculante sobre las Partes Anexo 1 (países desarrollados y países con economías en transición a economías de mercado), para reducir sus emisiones de 6 gases efecto invernadero (GEI), estipulados en el anexo A, en conjunto, en aproximadamente 5.2% por debajo de los niveles de 1990 en el primer período de compromisos establecido (2008-2012) (Guzmán y Laguna, 2005).

El compromiso cuantificado y diferenciado de reducción de emisiones de las Partes del Anexo 1 se encuentra plasmado en el Anexo B del protocolo; por ejemplo, Suiza, varios países de

Europa central y del Este y la Unión Europea en 8%; Estados Unidos en 7%; Canadá, Hungría, Japón y Polonia en 6%; mientras que Nueva Zelanda y Ucrania deberán estabilizarlas al nivel de 1990. Algunos países tienen la oportunidad de aumentar sus emisiones, como Noruega con 1%, Australia en 8% e Islandia en 10%. (Guzmán y Laguna, 2005). En la Tabla 2.7 se muestra el Anexo B de los países comprometidos con el protocolo de Kyoto para la mitigación de GEI.

**Tabla 2.7 Países incluidos en el anexo B del protocolo de Kyoto (IPCC, 2001)**

Parte	Compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones (% del nivel del año o periodo de base)
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria *	92
Canadá	94
Comunidad europea	92
Croacia *	95
Dinamarca	92
Eslovaquia *	92
Eslovenia *	92
España	92
Estados Unidos de América	93
Estonia *	92
Federación de Rusia *	100
Finlandia	92
Francia	92
Grecia	92
Hungría *	94
Irlanda	92
Islandia	110
Italia	92
Japón	94
Letonia *	92
Liechtenstein	92
Lituania *	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelanda	100
Países Bajos	92
Polonia *	94
Portugal	92
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	92
República Checa *	92
Rumania *	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania *	100

\* Países que están en proceso de transición a una economía de mercado

La Figura 2.13 presenta las emisiones de GEI a nivel mundial en 1990 (13,750 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>), que sirve a los países del Anexo 1 del protocolo de Kyoto como referencia para establecer los porcentajes de emisión de GEI (Oberthür y Ott, 2005).

En Mayo de 1994 México se integró a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Entre las condiciones negociadas para esta integración figuraba la aceptación por parte de la OCDE de la no inclusión de México en el Anexo I de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En este mismo contexto, México aceptó salir de inmediato del grupo de los 77 y China, a efectos de cualquier negociación internacional. Estas circunstancias determinaron el relativo aislamiento de México en algunas negociaciones multilaterales, como la relativa al cambio climático mundial. En los meses siguientes a la adopción del Protocolo de Kyoto, las presiones apuntaron sobre todo hacia la posibilidad de que México asumiera compromisos voluntarios de índole cuantitativa, en relación con las emisiones de gases efecto invernadero regulados por este instrumento (Tudela, 2005).

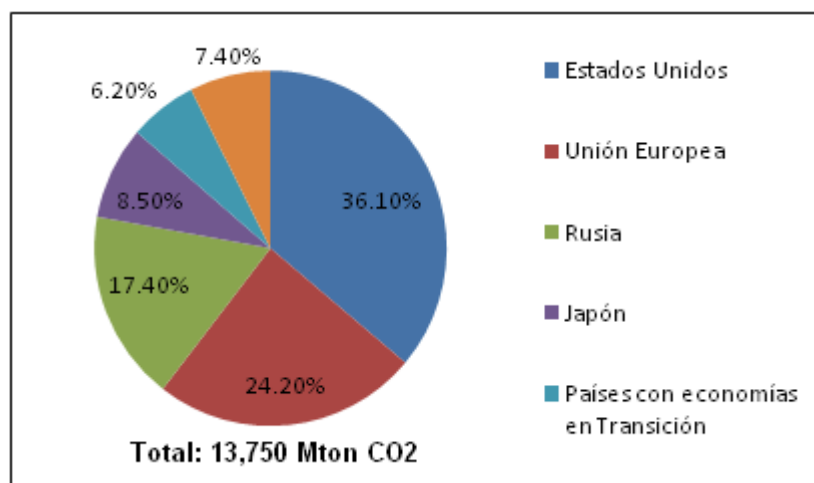


Figura 2.13 Contribución de países industrializados en 1990 de GEI (Oberthür y Ott, 2005)

### Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto incluye tres mecanismos diseñados para incrementar el costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las partes del Anexo I puedan reducir sus emisiones, o aumentar sus sumideros de carbono de manera más económica afuera de su país. Aunque el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre las regiones, el efecto en la atmosfera es el mismo, sin importar donde se lleven a cabo las acciones. Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto son:

- Comercio de Emisiones: Las partes del Anexo B podrán participar en actividades de comercio de los derechos de emisión. También menciona que toda operación de este tipo

será suplementaria a las medidas nacionales que se adopten para cumplir los compromisos cuantitativos de limitación y reducción de emisiones. Las partes del Anexo I adquieren Unidades de Cantidades Atribuidas (AAUS, por sus siglas en inglés) de otras partes del Anexo I que pueden reducirlas de manera más económica. Es importante destacar que las partes deben conservar una cantidad definida de derechos de emisión, conocida como “reserva del periodo de compromiso”, que no pueden vender con el objeto de minimizar el peligro de no alcanzar sus propias metas de reducción.

- Instrumentación Conjunta: Señala que todas las partes del Anexo I podrán transferir a cualquier otra parte incluida en el mismo anexo, o adquirir de ella, las Unidades de Reducción de Emisiones (ERUS, por sus siglas en inglés) resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropogénicas de GEI's por las fuentes o incrementar la absorción antropogénica por los sumideros. Las ERU podrán ser utilizadas por las partes que inviertan en dichos proyectos para cumplir sus metas de reducción.
- Mecanismo de Desarrollo Limpio: Funciona de manera similar al de Instrumentación Conjunta, a diferencia que partes que no pertenecen al Anexo I serán huéspedes de proyectos de mitigación. La estructura institucional del Mecanismo de Desarrollo Limpio es más compleja ya que incluye un Consejo Ejecutivo que guiara y supervisara los arreglos prácticos del Mecanismo. Dicho consejo opera bajo la autoridad de la Conferencias de las Partes (Guzmán y Laguna, 2005).

## **2.7 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**

Los procesos de monitoreo para el MDL son más estrictos para garantizar que no se generen Certificados de Reducción de Emisiones (CERS, por sus siglas en inglés) ficticios, dado que algunos países en desarrollo carecen de la capacidad técnica necesaria para realizar un monitoreo preciso de sus emisiones. Las Unidades de Remoción (RMUS, por sus siglas en inglés), son las que se obtienen de las actividades de captura de carbono (Guzmán y Laguna, 2005).

Se espera que el MDL genere inversiones en países en vías de desarrollo, especialmente del sector privado, y que se incremente la transferencia de tecnologías eficientes favorables al medio ambiente, con el fin de promover el desarrollo sustentable en general. Es importante destacar que el financiamiento y la transferencia de tecnología mencionados deben ser adicionales a los compromisos de las partes del Anexo II del Protocolo de Kyoto (Oberthür y Ott, 2005).

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países Anexo I (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kyoto). Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, forestación, limpieza de lagos y ríos, etc.



En la actualidad los "bonos de carbono" están cotizando entre 5 y 7 dólares por cada tonelada de carbono reducida, la Figura 2.14 muestra variación de los precios de los bonos de carbono de los últimos años. También hay que destacar que las empresas pueden comprar créditos de quienes superen las metas exigidas, por lo que ya se está generando un mercado de compra y venta de estos títulos (Guzmán y Laguna, 2005).

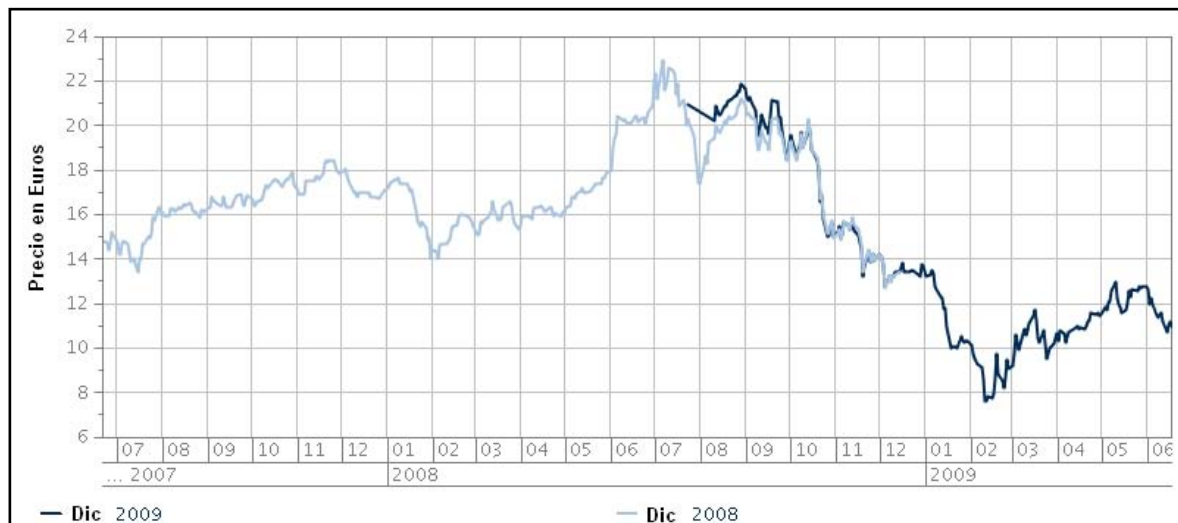


Figura 2.14 Variación de los precios de los bonos de carbono de los últimos años (PC, 2009)

Un ejemplo de la implementación de proyectos del MDL en México es el del metrobús, ya que el gobierno del Distrito Federal firmó un convenio con el gobierno español, el cual manifiesta que durante 10 años serán verificadas las reducciones de emisiones y todos los años se recibirá un pago equivalente; el primer pago que recibió el gobierno del DF fue por 120 mil euros del Fondo Español a través del Banco mundial, al lograr una reducción de 29 mil toneladas de CO<sub>2</sub> durante el primer año de operación del metrobús. Actualmente se desarrolla un proyecto de 10 nuevas rutas de este transporte en el DF, mismas que, se estima, reducirán en un futuro hasta 300 mil toneladas de CO<sub>2</sub> (Mentado, 2008).

### 2.7.1 Ciclo de proyectos del MDL

Los participantes deberán preparar un documento de diseño de proyecto, que incluya la metodología a utilizar para el cálculo de la línea base y el monitoreo, un análisis de los impactos ambientales, los comentarios recibidos de los involucrados en la localidad y una descripción de los beneficios ambientales nuevos y adicionales que el proyecto producirá.

Este documento será revisado por una Entidad Nacional Designada bajo el MDL, que puede ser nacional o una organización internacional acreditada y designada de manera provisional por el Consejo Ejecutivo, hasta que sean confirmadas por la primera sesión conjunta de la Conferencia de las Partes de la Convención y de la reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto. Después de dar oportunidad de recibir comentarios del público, decidirá si valida o no el proyecto. Los participantes prepararán un informe de monitoreo una vez que el proyecto esté en operación

que incluirá una estimación de los CERS generados, la cual será verificada por una entidad operacional diferente a la que valido el proyecto, con el fin de evitar conflictos de intereses. La Figura 2.15 muestra el diagrama de flujo para solicitar proyectos de MDL.

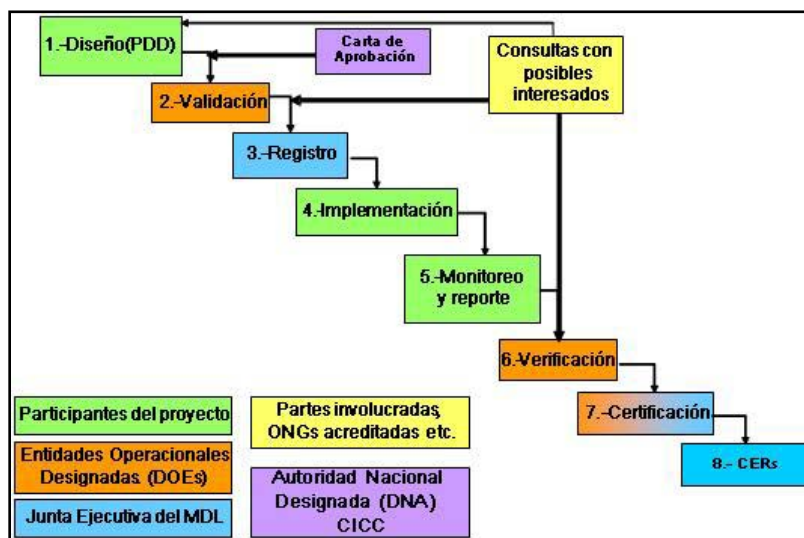


Figura 2.15 Diagrama de flujo para solicitar proyectos de MDL (SEMARNAT, 2008a)

Los CERS generados por proyectos de MDL serán gravados con un 2%, cantidad que apoyará al Fondo de Adaptación para ayudar a los países en vías de desarrollo que son particularmente vulnerables al cambio climático. Sólo los países considerados como menos desarrollados quedan exentos de dicho gravamen (Guzmán y Laguna, 2005).

### 2.7.2 Costos de Transacción

Para algunos proyectos del MDL, especialmente los de pequeña escala, la realización de las diferentes etapas del ciclo del proyecto, que van desde la preparación y revisión hasta la terminación del mismo, implican gastos significativos que se calculan aproximadamente en \$265,000 dólares como mínimo.

### 2.7.3 Criterios para participar en el MDL

Los criterios de elegibilidad establecidos por el secretariado de la Convención Marco son los siguientes:

- a) La participación voluntaria de los países
- b) El establecimiento de una autoridad nacional designada para propósitos del MDL
- c) El haber ratificado el Protocolo de Kyoto
- d) La elaboración de inventarios nacionales anuales de emisiones de GEI
- e) Un sistema de contabilidad para la compra venta de URE

El MDL incluirá proyectos de los siguientes sectores:

- Industrias energéticas (renovables o no renovables)
- Distribución de energía
- Demanda de energía
- Industrias manufactureras
- Industrias químicas
- Construcción
- Transporte
- Minas
- Producción metalúrgica
- Emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, petróleo y gas natural)
- Uso de solventes
- Disposición y manejo de desechos
- Aforestación y reforestación
- Agricultura

El MDL representa para México oportunidades de inversión en proyectos de mitigación en ambos sectores: Energético y forestal. La Tabla 2.8 muestra los proyectos mexicanos del MDL con cartas de aprobación hasta 2008.

Una participación exitosa del sector privado mexicano en el MDL va a depender de su capacidad de establecer alianzas con empresas extranjeras mediante procesos de inversión extranjera directa, aportación de capital de riesgo, créditos a la exportación, licencias y transferencia de tecnologías, contratos de compra, autoabastecimiento o autogeneración de energía renovable a empresas multinacionales con operaciones en México, contratos de servicios, etc. Es importante que México cuente con un panorama de competitividad de empresas privadas en el MDL en distintos escenarios sectoriales (Quadri, 2005).

#### **2.7.4 Barreras para los proyectos de energía renovable del MDL en México**

El Protocolo Kyoto, que entró en vigor en febrero de 2005, ordeno que los países del Anexo I, que ratificaron el Protocolo cumplan sus metas de reducción de emisiones de carbono. Uno de los caminos por los cuales los países pueden cumplir con estas reducciones es teniendo una equidad de emisiones o comprando los Certificados de Reducción de Emisiones (CRE) de proyectos de países en vía de desarrollo. Una amplia variedad de proyectos que están dentro de los límites de la eficiencia energética en la industria y el sector de transporte relacionados con la sustitución de energía renovable para la generación convencional califican para la obtención de los CRE.

México está posicionado para ser uno de los líderes a nivel mundial de proyectos de MDL debido a que es uno de los países más industrializados que no pertenecen al Anexo I, y cuenta con muchas oportunidades para desarrollar proyectos de reducción de emisiones de carbono. Un estudio analizó el potencial de México para generar CRE, basado en su PBI ya que muestra que produce 5 millones de CRE menos de los esperados mientras que Brasil produce más de 6 millones

de los esperados. Ciudades con gran densidad poblacional, sobre todo la capital con aproximadamente 30 millones de habitantes, crean muchas oportunidades para la creciente campaña de captura de gas de rellenos sanitarios para la generación de electricidad.

**Tabla 2.8 Proyectos mexicanos del MDL con cartas de aprobación hasta 2008 (SEMARNAT, 2008)**

Tipo de proyectos	Núm. Proyectos	Ubicación	Reducción de CO <sub>2</sub> equivalente [KTons/año]	Comprador de Bonos de Carbono
Manejo de residuos en granjas porcícolas	88	AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.L.P., SON., OAX., TAMPS., VER., YUC.	2507	AgCert, EcoSecurities, Grupo Porcícola Mexicano
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	55	AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN., TLAX.	983	AgCert, Environmental Energy & Engineering Co., CantorCO <sub>2</sub> e
Metano de rellenos sanitarios	14	AGS., B.C., CHIH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MOR., N.L., SIN., YUC.	1968	SIMEPRODE, Promotora Ambiental S.A.B. de C.V., BENLESA, EcoSecurities, ETEISA
Manejo de aguas residuales	3	SON., OAX., PUE.	36	AgCert, SPCAM, Empacadora San Marcos S.A. de C.V.
Energía eólica	8	B.C. y OAX.	2264	CFE, GAMEESA Energía, Eoliatec, PEM, CEMEX
Hidroeléctricos	5	GRO., JAL., MICH., OAX. y VER.	191	PROENERMEX, MEXHIDRO, Hidroelectricidad del Pacifico S. de R.L. de C.V., Electricidad del Istmo S.A. de C.V.
Incineración HFC-23	1	N.L	2155	Quimobásicos S.A. de C.V.
Mitigación de N <sub>2</sub> O en la industria química	1	VER.	103	Químicas para el Campo y la Industria, S.A. de C.V.
Cogeneración y eficiencia energética	11	B.C., COAH., EDO. MEX., HGO., JAL., MICH., N.L., PUE., SIN., S.L.P., SON., TAB., TAMPS., Q. ROO., VER., YUC.	696	Grupo Petromex, La Costeña S.A. de C.V., Ingenio El Dorado S.A. de C.V., CEMEX, DNMX, BSM
Emissiones fugitivas	2	COAH., VER.	665	MIMOSA, PEMEX Exploración y Producción
Transporte	1	D.F.	24	GDF
<b>Total</b>	<b>189</b>	<b>-</b>	<b>11592</b>	<b>31</b>

México cuenta con gran variedad de recursos para obtener energía renovable, como recursos eólicos suficientes para generar 6000 MW en el Istmo de Tehuantepec, así como excelentes corrientes de aire en Baja California y la península de Yucatán, además de proyectos hidráulicos que generan 3300 MW en todo el país. Los proyectos de energía renovable generan la mitad de las reducciones de emisiones a nivel mundial, pero en México sólo el 4.5 % de los proyectos registrados generan CRE.

Los motivos que propician el desuso de la energía renovable en México se derivan de la cultura y de leyes que dirigen las empresas que controlan la mayor parte de la generación y transmisión de energía en el país como la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro. Luz y Fuerza posee solamente el 1.3 % de la generación en México y sirve a la ciudad de México y zonas aledañas. Por lo tanto, CFE posee el 80.3 % de la generación en México y es la principal empresa dirigida por el gobierno que sirve el país. Dentro de la cartera de proyectos de CFE los hidroeléctricos tienen el 11 % de la generación total porque la hidroelectricidad es usada sólo para satisfacer la demanda en horas pico en lugar de ser usada como base en la generación. Otras fuentes de generación sin emisiones de carbono constituyen una pequeña parte de la cartera como la geotérmica con el 3 %, la nuclear con el 4.5 % y la eólica con el .01 % de la generación total. El 81 % de la generación proviene de combustibles fósiles, el factor de emisión nacional en México es relativamente alto siendo de aproximadamente 0.6 toneladas de CO<sub>2</sub> emitido por cada kWh de electricidad generado. Otros países con mayor dependencia de recursos hidráulicos como Costa Rica tienen factores de emisión cercanos a 0.15 toneladas de CO<sub>2</sub> por kWh. Por lo tanto, si se substituye la energía convencional por energía renovable en México se la capacidad de obtener un número significativo de reducciones de emisiones.

La captura de metano en granjas de cerdo domina los proyectos de MDL en México, que cuando son totalmente operacionales, producen el 49 % de las reducciones de emisión y el 92 % de los proyectos en el país. Hay espacio para el desarrollo de más granjas de cerdo, mataderos y granjas de ganado lechero, pero las recientes dificultades en la operación de los digestores ponen en duda la viabilidad económica y el interés de los para el desarrollo de estos proyectos en el futuro. Los digestores producen menos CRE de los esperados debido a problemas con el control de la temperatura, el pH y la cantidad de sustancias químicas y bacterias en el excremento. También, la incorrecta instalación de los cables para encender los quemadores ha reducido el número de CRE debido a que la flama no está siempre encendida. Cambios en las metodologías usadas para los proyectos de MDL han reducido el número de CRE que podrían ser creados y aumentado los gastos del proyecto, haciéndolos menos atractivos a las compañías que desarrollan los proyectos.

Otro tipo de proyectos de MDL como la eficiencia energética, la silvicultura y el transporte existen en casos aislados, pero metodologías que se desarrollan en la silvicultura y el sector transporte y la carencia de un modelo económicamente viable para desarrollar proyectos de eficiencia energética crean barreras para el desarrollo de estos proyectos. Por lo tanto, evaluar las barreras para el desarrollo de la energía renovable en el país es la llave para promover más proyectos de MDL (FEALAC, 2006).

#### **2.7.4.1 Barreras para el desarrollo de energía renovable**

La barrera más importante para el desarrollo de energía renovable es la CFE, ya que controla la mayor parte de la generación del país y actualmente no se pueden construir proyectos de energía renovable porque el elevado costo de todos los tipos de energía renovable en el país resultan más caros que la energía convencional. Según la ley federal, CFE debe desarrollar nuevos proyectos que proporcionen electricidad más barata para ciudadanos. También, en el proceso de planificación para nuevas instalaciones, no existe ninguna incorporación de un impuesto de carbón, que haría los recursos renovables más competitivos con la energía convencional. Los ingresos que puede ser obtenidos de proyectos de MDL para proyectos de energía renovable no son parte del análisis económico hecho para nuevas adiciones de capacidad de generación .

A causa del proceso de planificación de menos costos, hubo sólo dos proyectos de energía renovable aceptados por la CFE que intentó ganar el registro de MDL. El primero de estos proyectos, conocido como La Venta II con una capacidad de 83 MW está localizado en el estado de Oaxaca, es considerado una anomalía en la cartera de proyectos de la CFE. Otro proyecto de CFE que espera ganar CRE es un proyecto eólico con capacidad de 100 MW en Oaxaca conocido como La Venta III, que está siendo apoyado por el Fondo Global Ambiental del Banco mundial con 25 millones de dólares. El gran subsidio que recibe este proyecto hace imposible demostrar la adicionalidad financiera y ganar CRE.

A causa de estas barreras para la participación en el MDL por parte del estado, la generación de particulares comprende el sector con mayor potencial para la hacer uso del MDL. El hecho de que la generación privada tiene el 17.73 % de la cartera de proyectos del país limita el número de proyectos que pueden ser desarrollados.

La siguiente etapa en el proceso para los productores independientes para comenzar a operar es negociar un precio para la transmisión con CFE. Las tarifas cobradas por CFE constituyen entre 15 y el 30 % del precio por kWh que el cliente tarde o temprano paga al productor independiente.

De las cinco opciones disponibles dadas en la ley energía eléctrica y servicio público de 1992, los productores independientes están más interesados en el esquema de autosuministro. Este esquema puede ser el más lucrativo ya que el precio medio de electricidad en México para los sectores comerciales e industriales a los cuales productores independientes venden el servicio es muy alto (13.04 USD¢ / kWh).

Los subsidios dados cada año por el gobierno por un monto de 7 mil millones de dólares a CFE y LyFC hacen que los productores independientes puedan competir en la generación de electricidad (Klimek, 2006).

#### **2.7.4.2 Leyes que apoyan la energía renovable**

La pequeña cantidad de productores independientes de energía renovable en México se debe a las leyes aprobadas en 1992 y en 2005 que han proporcionado un marco regulador más

favorable para este tipo de energía. La ley de Servicio público de energía eléctrica de 1992 proporcionó cinco esquemas de permitir a productores independientes existir. Estas categorías son:

1. Cogeneración o generación local para empleo en las instalaciones de una fábrica para disminuir o eliminar la demanda de electricidad externa.
2. Generación de productores independientes para venta a CFE
3. Producción de energía para exportación proveniente de cogeneración o de una pequeña instalación de generación. Este esquema se menciona como el esquema de autosuministro. El precio que el generador consigue es negociado entre el accionista y el generador de electricidad.
4. Energía importada para usarse en una ubicación específica. La energía puede ser generada para usarse de emergencia en caso de que la red pública sea interrumpida (SENER, 2006).

Mientras esta ley permitió la competencia limitada dentro del sector eléctrico, no proporcionó ningún incentivo para la generación renovable y por lo tanto estimuló poco el desarrollo de este sector. Entre 2001 y 2006, la Comisión reguladora mexicana aprobó varias regulaciones incluyendo comisiones por operación y modelos de contrato para la transmisión de energía renovable que ayudó a estimular el crecimiento en este sector. Estas regulaciones incluyeron las siguientes reglas:

1. El esquema de autosuministro, que ha resultado ser la opción económicamente más viable para los productores independientes conforme a la legislación de 1992 para generación renovable, permite para la suma de la cantidad total de energía (kWh) producido a más de un mes y luego considera que la energía exige que el accionista registrara durante el mes.
2. Generadores de energía renovable pueden tomar ventaja de una acelerada depreciación en las ganancias o en otras inversiones que puedan tener.
3. Hay cargos para la transmisión de baja capacidad de energía renovable que están basados en la capacidad media del generador en el punto de interconexión (CRE, 2001).

Las siguientes ventajas se aplican a estas tecnologías conforme a esta ley propuesta:

1. La generación de energía renovable será responsabilidad no sólo sociedades anónimas de responsabilidad limitada y también del estado.
1. Este objetivo puede ser alcanzado permitiendo a las ventajas a largo plazo de energía renovable para ser incorporada en el proceso de puja de menor costo para esta energía.
2. Los objetivos de energía renovable en términos de capacidad instalada y generación serán descritos. Los proyectos menores a 30 MW y con una diversidad de tecnologías son priorizados en estos objetivos.
3. Un comité será establecido para crear incentivos para la implementación de equipo relacionado con la energía renovable.
4. Los programas serán creados para reservar tierra con abundancia de recursos de energía renovable para su futuro desarrollo.

5. Un comité financiero será establecido para manejar 55 millones de dólares otorgados para promover la energía renovable. Este fondo será dividida de la siguiente manera: El 55 % para " un fondo Verde " para permitir que los costos de generación de energía renovable sean competitivos con la energía convencional, 6 % para tecnologías emergentes, 10 % para electrificación rural, 7 % para un fondo general de energía renovable, 7 % para biocombustibles y 15 % para la investigación y el desarrollo de tecnologías. Este comité financiero también negociará ventas de CRE.
6. La energía renovable se beneficiará del envío inmediato de estos recursos.
7. Los proyectos menores a 0.5 MW serán aptos para recibir los permisos para generar.
8. Los proyectos mayores a 2.5 MW deben tener en cuenta cómo afectan a las comunidades a su alrededor. Proyectos hidráulicos mayores a 30 MW y eólicos mayores a 60 MW serán evaluados por un comité que asegurara que tengan un desarrollo sustentable y tengan todos los permisos y requisitos (Klimek, 2006).

#### **2.7.4.3 Conclusión**

Considerando el PBI de México y el potencial para proyectos de reducción de emisiones, existe la posibilidad de que haya un crecimiento sustancial en el campo de proyectos de MDL. Sin embargo, dificultades recientes con los proyectos de captura de metano en México y una carencia de inversión en proyectos de eficiencia del transporte y la industria no presagian un futuro optimista en estos sectores. Por lo tanto, la energía renovable es el sector con más posibilidades para aprovechar ingresos del MDL. El crecimiento en la demanda de electricidad y los obstáculos puestos para proyectar el desarrollo en otros sectores. Sin embargo, las empresas estatales controlan la mayor parte del mercado de generación y no puede invertir dinero en proyectos de energía renovable de MDL debido a las limitaciones financieras. Productores independientes afrontan barreras significativas porque el mercado mexicano aun no está completamente privatizado.

Aunque el mercado fuera abierto, numerosas barreras como las altas tarifas de transmisión y los impedimentos al sector privado para competir con las paraestatales. El tiempo y el interés en el mercado mostrarán que la legislación de energía renovable es adecuada de apuntar el desarrollo (Lokey, 2009).

#### **2.8 Ley de Bioenergéticos en México**

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos aprobada por el Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de febrero de 2008, tiene por objeto la promoción y desarrollo de los Bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano y establece las bases para:

1. Promover la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin



poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad con lo establecido en el artículo 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

2. Desarrollar la producción, comercialización y uso eficiente de los bioenergéticos para contribuir a la reactivación del sector rural, la generación de empleo y una mejor calidad de vida para la población, en particular las de alta y muy alta marginalidad.
3. Promover, en términos de la Ley de Planeación, el desarrollo regional y el de las comunidades rurales menos favorecidas.
4. Procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto de invernadero, utilizando para ello los instrumentos internacionales contenidos en los Tratados en que México sea parte, y
5. Coordinar acciones entre los Gobiernos Federal, Estatales, Distrito Federal y Municipales, así como la concurrencia con los sectores social y privado, para el desarrollo de los bioenergéticos.

Otro de sus objetivos es el que las autoridades, en el ámbito de sus respectivas competencias, fomenten el desarrollo del mercado incluyendo la promoción de esquemas de participación de productores y la libre competencia en las materias de la ley, en términos de lo dispuesto en la Ley Federal de Competencia Económica. Para dicho fin se crea la Comisión de Bioenergéticos, la cual estará integrada por los titulares de la SAGARPA, SENER, SEMARNAT, la Secretaría de Economía y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la cual tendrá las siguientes funciones:

- A. Participar en el marco del Plan Nacional de Desarrollo y de los programas sectoriales, en la elaboración de programas de corto, mediano y largo plazos, relacionados con la producción y comercialización de insumos, y con la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de bioenergéticos.
- B. Establecer las bases y lineamientos para la suscripción de acuerdos o convenios de coordinación entre los gobiernos federal, estatales del Distrito Federal y municipales, para dar cumplimiento a esta Ley, a los programas y las disposiciones que deriven de la misma, en lo relativo a la producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de bioenergéticos.
- C. Establecer las bases para la concurrencia de los sectores social y privado, a fin de dar cumplimiento de la Ley, así como a los programas y disposiciones que deriven de la misma, en lo relativo a las cadenas de producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.

- D. Dar seguimiento a los programas derivados de esta Ley, relativos a la producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos, así como establecer los indicadores para determinar el grado de cumplimiento de los mismos.
- E. Dar seguimiento a los compromisos adquiridos por los Gobiernos Federal, estatales y municipales, así como por los sectores social y privado, en lo relativo a la producción y comercialización de insumos y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.
- F. Fomentar la agroindustria y la inversión e infraestructura necesarias, así como el uso de tecnologías eficientes para la producción y comercialización de insumos y para la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.
- G. Proponer los lineamientos programáticos y presupuestales que deberán tomar en cuenta las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para realizar actividades y apoyar la producción y comercialización de insumos, y la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.
- H. Realizar el seguimiento del presupuesto anual en la materia y evaluar los programas y demás instrumentos de apoyo, sin perjuicio de las atribuciones de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de la Función Pública;
- I. Promover la coordinación de acciones de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, en lo relativo a la producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.
- J. Revisar la congruencia de las Normas Oficiales Mexicanas, en lo relativo a la producción y comercialización de insumos, y a la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y el uso eficiente de Bioenergéticos.
- K. Aportar elementos para que en el diseño y formulación de políticas nacionales, relacionadas con las materias de la presente Ley, se impulse la producción, comercialización y uso de energía renovable.
- L. Definir prioridades y criterios para la asignación del gasto público federal para la promoción y desarrollo de los Bioenergéticos, que incluirán áreas estratégicas y programas específicos y prioritarios a los que se les deberá otorgar especial atención y apoyo presupuestal.
- M. Definir mecanismos de coordinación y vinculación de las actividades entre los diferentes sectores de la Administración Pública Federal y con los diversos sectores productivos del país, así como proponer los mecanismos de coordinación con las entidades federativas y los municipios.

Las Secretarías integrantes de la Comisión de Bioenergéticos estarán dirigidas a los productores de Insumos y deberán impulsar la productividad, fomentar la generación de empleos, motivar la creación y consolidación de empresas rurales, cuya participación accionaria de los productores de insumos sea de un porcentaje de al menos 30 por ciento, fortalecer la competitividad del sector y garantizar la protección de los recursos naturales.

La SAGARPA y la SENER apoyarán la investigación científica y tecnológica para la producción y uso de los bioenergéticos, así como la capacitación en estas materias y tendrán como propósitos esenciales:

- I. Fomentar y desarrollar la investigación científica para la producción sustentable de insumos destinados a la producción de bioenergéticos.
- II. Fomentar y desarrollar la investigación de tecnologías de producción, distribución y uso de los bioenergéticos.
- III. Satisfacer las necesidades de información de las diversas autoridades competentes.
- IV. Establecer procedimientos de evaluación para determinar el estado de la viabilidad de los proyectos para la producción de bioenergéticos.
- V. Brindar elementos para determinar las condiciones en que deben realizarse la producción de bioenergéticos, de manera que se lleven a cabo en equilibrio con el medio ambiente. (CGEUMa, 2008).

## **2.9 Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética**

El 28 de Octubre de 2008 el Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, decreta la ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética que tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética. Se excluye del objeto de la presente Ley, la regulación de las siguientes fuentes para generar electricidad:

- I. Minerales radioactivos para generar energía nuclear
- II. Energía hidráulica de fuentes con capacidad de generar más de 30 MW
- III. Residuos industriales o de cualquier tipo cuando sean incinerados o reciban algún otro tipo de tratamiento térmico
- IV. Aprovechamiento de rellenos sanitarios que no cumplan con la normatividad ambiental

La Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética, se puede resumir de la siguiente manera:

Artículo	Disposiciones
1º	Tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.
2º	El aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías limpias es de utilidad pública y se realizará en el marco de la estrategia nacional para la transición energética mediante la cual el gobierno promoverá la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.
3º	Las energías renovables contempladas por esta ley son: Eólica, solar, hidráulica, maremotriz, geotérmica, bioenergéticos (que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos) y aquellas que cumplan con lo dicho en el artículo 1º.
4º	El aprovechamiento de los cuerpos de agua, los bioenergéticos, el viento y los recursos geotérmicos, así como la explotación de minerales asociados a los yacimientos geotérmicos, para la producción de energía eléctrica, se sujetará y llevará a cabo de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables en la materia.
5º	La Secretaría de Energía (SENER) ejercerá las atribuciones conferidas por esta Ley.
6º	La SENER tiene como responsabilidad: Elaborar y coordinar la ejecución del Programa, coordinar el Consejo Consultivo para las Energías Renovables, definir las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y su transformación eficiente, observar los compromisos internacionales adquiridos por México en materia de aprovechamiento de las energías renovables y cambio climático y establecer y actualizar el Inventario Nacional de las Energías Renovables.
7º	La Comisión Reguladora de Energía (CRE) tendrá las atribuciones siguientes: Expedir las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables, establecer los instrumentos de regulación para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios que se presten entre sí los Suministradores y los Generadores, solicitar al Suministrador la revisión y la modificación de las reglas de despacho, expedir las metodologías para determinar la aportación de capacidad de generación de las tecnologías de energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional, expedir las reglas generales de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional que le deberán proponer los Suministradores y expedir los procedimientos de intercambio de energía y los sistemas correspondientes de compensaciones, para todos los proyectos y sistemas de autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción por energías renovables, que estén conectados con las redes del Sistema Eléctrico Nacional.
8º	El Ejecutivo Federal, por conducto de la SENER podrá suscribir convenios y acuerdos de coordinación con los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con el objeto de: Establecer bases de participación para instrumentar las disposiciones que emita el Ejecutivo Federal de conformidad con la presente Ley, promover acciones de apoyo al desarrollo industrial para el aprovechamiento de las energías renovables, facilitar el acceso a aquellas zonas con un alto potencial de fuentes de energías renovables para su aprovechamiento y promuevan la compatibilidad de los usos de suelo para tales fines y simplificar los procedimientos administrativos para la obtención de permisos y licencias para los proyectos de aprovechamiento de energías renovables.
9º	La Secretaría de Economía definirá las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y su transformación eficiente.

<b>Artículo</b>	<b>Disposiciones</b>
<b>10º</b>	La SENER elaborará una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad basada en energías renovables, en sus distintas escalas.
<b>11º</b>	La SENER elaborará y coordinará la ejecución del Programa, para lo cual deberá: Promover la participación social durante la planeación, aplicación y evaluación del Programa, establecer objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables, establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, incluir la construcción de las obras de infraestructura eléctrica necesarias para que los proyectos de energías renovables se puedan interconectar con el Sistema Eléctrico Nacional y asegurar la congruencia entre el Programa y los otros instrumentos de planeación del sector energía.
<b>12º</b>	En la elaboración del Programa, la SENER considerará los beneficios económicos netos potenciales de generarse por el aprovechamiento de las energías renovables.
<b>13º</b>	La SENER considerará los beneficios a que se refiere el artículo 12 de la presente Ley, en la evaluación económica de los proyectos de aprovechamiento de energías renovables que realicen los Suministradores.
<b>14º</b>	La CRE determinará las contraprestaciones máximas que pagarán los Suministradores a los Generadores que utilicen energías renovables.
<b>15º</b>	La CRE expedirá las directrices a que se sujetarán los modelos de contrato entre los Suministradores y los Generadores que utilicen energías renovables.
<b>16º</b>	Los Suministradores deberán celebrar contratos de largo plazo con los Generadores que utilizan energías renovables que cuenten con un permiso de la CRE.
<b>17º</b>	En el caso de venta de la energía que sobra racionalmente después del autoconsumo de la producción, de conformidad con lo establecido en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de proyectos de autoabastecimiento con energías renovables o de cogeneración de electricidad.
<b>18º</b>	El Sistema Eléctrico Nacional recibirá la electricidad producida con energías renovables, excedentes de proyectos de autoabastecimiento o por proyectos de cogeneración de electricidad.
<b>19º</b>	Los Suministradores recibirán los excedentes razonables de conformidad con las condiciones de operación y de economía del sistema eléctrico, así como de distribución geográfica y de variabilidad en el tiempo de las distintas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables.
<b>20º</b>	Las atribuciones de la CRE se aplicarán a los sistemas de cogeneración de electricidad aunque no utilicen energías renovables siempre y cuando dichos sistemas cumplan con el criterio de eficiencia que establezca la propia CRE.
<b>21º</b>	Los proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables con una capacidad mayor de 2.5 MW, procurarán: Asegurar la participación de las comunidades locales y regionales, pagar el arrendamiento a los propietarios de los predios o terrenos ocupados por el proyecto de energía renovable y promover el desarrollo social en la comunidad en la que se ejecuten los proyectos de generación con energías renovable.
<b>22º</b>	Se establece la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía como el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias.
<b>23º</b>	La Estrategia, encabezada por la SENER, tendrá como objetivo primordial promover la utilización, el desarrollo y la inversión en las energías renovables a que se refiere esta Ley y la eficiencia energética.

Artículo	Disposiciones
<b>24º</b>	Con el fin de ejercer con eficiencia los recursos del sector público La Estrategia, en términos de las disposiciones aplicables, consolidará en el Presupuesto de Egresos de la Federación las provisiones de recursos del sector público tendientes a: Promover e incentivar el uso y la aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, promover y difundir el uso y la aplicación de tecnologías limpias en todas las actividades productivas y en el uso doméstico, promover la diversificación de fuentes primarias de energía, establecer un programa de normalización para la eficiencia energética y proponer las medidas necesarias para que la población tenga acceso a información confiable, oportuna y de fácil consulta en relación con el consumo energético de los equipos, aparatos y vehículos que requieren del suministro de energía para su funcionamiento.
<b>25º</b>	El Ejecutivo Federal consolidará los recursos del sector público que proponga establecer dentro de la Estrategia.
<b>26º</b>	Cada año la SENER llevará a cabo la actualización de la Estrategia y presentará una prospectiva sobre los avances logrados en la transición energética y el aprovechamiento sustentable de las energías renovables.
<b>27º</b>	Se crea el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
<b>28º</b>	Los recursos de la Estrategia deberán ser ejercidos con base en los principios de honestidad, legalidad, productividad, eficiencia, eficacia, rendición de cuentas, transparencia gubernamental y máxima publicidad.
<b>29º</b>	La Estrategia se sujetará a los mecanismos de control, auditoría, evaluación y rendición de cuentas que establezcan las disposiciones legales, a fin de asegurar el cumplimiento de los principios enumerados en el artículo precedente.
<b>30º</b>	El gobierno podrá firmar convenios con los Suministradores con objeto de que, de manera conjunta, se lleven a cabo proyectos de aprovechamiento de las energías renovables disponibles en su territorio.
<b>31º</b>	El Ejecutivo Federal diseñará e instrumentará las políticas y medidas para facilitar el flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático (CGEUMb, 2008)

## 2.10 Mercado para la energía limpia

De septiembre de 2003 a marzo de 2008, los precios del petróleo crudo a nivel mundial aumentaron de 25 dólares por barril a un precio record de 107.90 dólares (Mouawad, 2007). El precio anterior más alto fue en 1981 siendo de 86.99 dólares debido a la inflación de aquel entonces (Green, 2006). Claramente, el reciente aumento de los precios del petróleo representa un cambio dramático sobre los relativamente bajos y estables precios en el mercado estadounidense de petróleo que han ocurrido durante las dos últimas décadas. La Figura 2.16 muestra cómo han evolucionado los precios del petróleo en México de 1975 a 2009.

En respuesta a rápidos incrementos en los precios de combustible, ¿Qué deberían saber sobre energías limpias los poseedores de tecnología, los políticos y los clientes? ¿Reemplazar combustibles fósiles con energías limpias es tecnológica y económicamente factible? ¿Podrían las energías limpias proporcionar alguna medida de protección en el futuro contra las severas fluctuaciones en los de precios de energía convencionales? ¿Qué significa realmente el término energía limpia y será posible la existencia de un mercado competitivo para éstas?.

La investigación para respuesta a estas preguntas se dirige usando múltiples perspectivas. La definición de energía limpia es en gran parte una cuestión técnica y se ve desde ésta

perspectiva. La pregunta de la posible existencia de un mercado para la energía limpia evoca cuestiones de organización en los negocios que conciernen a la estrategia corporativa, el desarrollo de producto, la regulación y la creación de valores en los clientes.

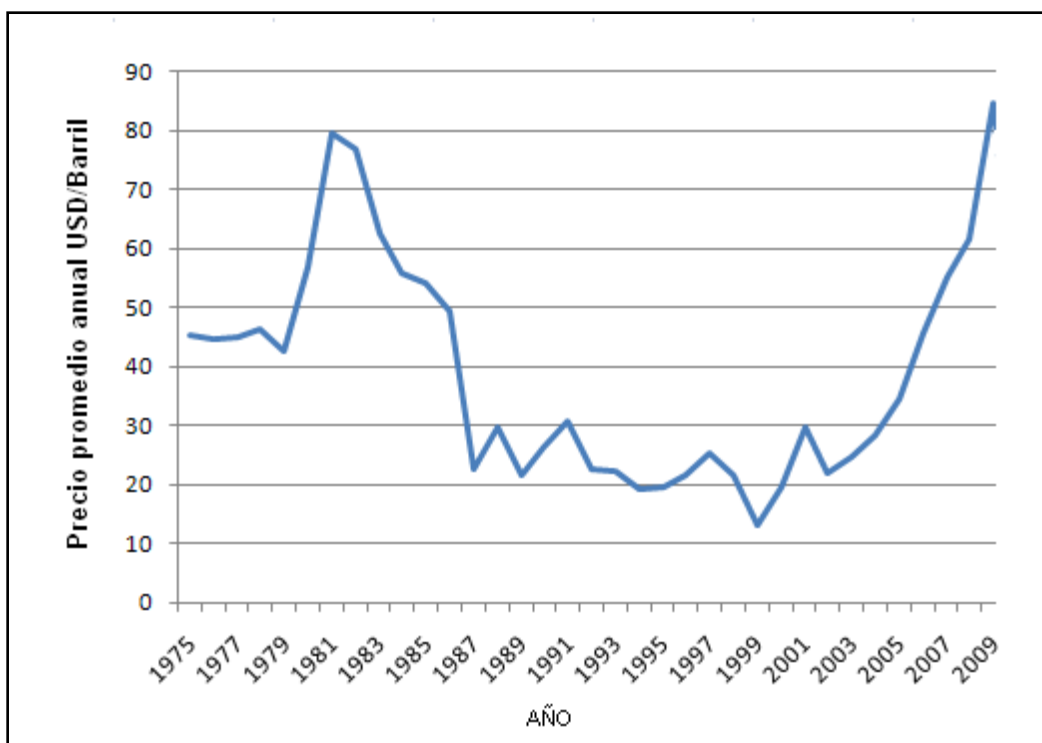


Figura 2.16 Evolución de los precios del petróleo en México en el periodo 1975-2009 (CEFP, 2009)

Las organizaciones gubernamentales tienen un impacto sobre los ambientes políticos y de negocios en los cuales se toman las decisiones relativas al uso y manejo de las tecnologías limpias. En muchas ocasiones, las diversas definiciones "de la política limpia" pueden ser críticas en la definición del éxito de un proyecto de energía (Van Roijen, 2006). La tecnología más viable en estas situaciones no llega a ser la más limpia o la más rentable, sino la que se adapte mejor a las expectativas económicas y ambientales. En el análisis final, son las opiniones de los consumidores, los votantes, los inversionistas y otras personas relacionadas con los proyectos los que determinarán el éxito o el fracaso del mercado de energía limpia.

### 2.10.1 Alternativas de la energía limpia

La energía limpia con ayuda de la ciencia y la tecnología ambiental previene la contaminación que podría causar daños en la salud humana y a otros organismos en el ecosistema. La energía limpia se enfoca en las alternativas renovables que no generan los llamados gases efecto invernadero que son la causa del cambio climático global (IPCC, 2001).

Aunque la generación de energía nuclear no produzca directamente gases efecto invernadero, generalmente no se incluye como una opción de energía limpia. La generación de energía nuclear no produce emisiones de gases en el momento de operación, sin embargo requiere de una cantidad significativa de energía para el proceso de minado y para transportar el uranio enriquecido. Esto produce desechos nucleares peligrosos los cuales requieren de una gran

inversión económica para ser tratados o eliminarlos de manera segura. Por lo tanto, los gobiernos han forzado a ofrecer seguridad a las industrias nucleares.

Los proyectos hidroeléctricos a gran escala constituyen la mayoría de las fuentes de generación renovables con cero emisiones de gases. Este tipo de desarrollo energético se ha hecho polémico recientemente debido al impacto que tiene sobre los ríos, los paisajes y los ecosistemas. Esto también puede conducir a significativas reubicaciones de personas y cambios en el uso de la tierra en las áreas donde las presas son construidas. Tales impactos negativos son consideraciones importantes para distinguir entre fuentes hidroeléctricas limpias y las que no lo son. En China la presa hidroeléctrica de las Tres Gargantas con una capacidad de generación de 22,500 MW, desplazó a más de 1.5 millones de personas y provocó grandes cambios en el cauce y el entorno del río Yang-Tsé. Esto ejemplifica el impacto ambiental que se puede provocar.

La categoría de biomasa incluye dos subcategorías que se pueden etiquetar como biocombustibles "tradicionales" y "avanzados". Los biocombustibles tradicionales en gran parte son la madera y otros combustibles utilizados para cocinar y para la calefacción. Los biocombustibles tradicionales representan la mayor fuente de energía renovable que se usa en todo el mundo. Los biocombustibles avanzados incluyen alternativas como el etanol y biodiesel.

La Tabla 2.9 muestra una investigación hecha por la Agencia Internacional de Energía (IEA) acerca de varias fuentes de energía renovable y como ellos la comparan con todas las fuentes de energía alrededor del mundo (IPCC, 2001). Esta estimación muestra que las fuentes de energía renovables generaron el 13.1 % del suministro total de energía primaria a nivel mundial (STEP) en 2004. Este porcentaje del STEP puede ser subclasificado en 10.4 % para combustibles renovables y desechos, con el 2.2 % la hidroenergía y el 0.5 % de otras fuentes (mareomotriz, eólica, solar, geotérmica). Hacia el 2004, el STEP estimado fue de 11,059 millones de toneladas de petróleo equivalente (mtpe).

**Tabla 2.9 Porcentaje de STEP en 2004 (IPCC, 2001)**

<b>Categoría</b>	<b>STEP %</b>
Petróleo	34.3
Carbón	25.1
Gas natural	20.9
Renovables	13.1
Nuclear	6.5
Desechos no renovables	0.2

El índice de crecimiento para las fuentes de energía renovables ha sido claramente alto durante los últimos 30 años, siendo una muestra la energía eólica que crece a una tasa del 48% por año.

### **2.10.2 Penetración de mercado**

Con una actitud temerosa frente al mercado, la energía limpia no será una amenaza significativa ni competitiva contra los combustibles fósiles. Incluso los países que agresivamente impulsan la política de energía renovable, los planificadores no visualizan el abandono del uso del petróleo durante varias décadas. Alemania ha puesto uno de los objetivos más ambiciosos. Aspira a producir el 20 % de su electricidad con energía renovable hacia 2020 y producir el 50 % de la



energía total del país hacia 2050 (Sawin, 2004). Este alto grado de penetración de mercado sería un logro notable, pero esto no evitará la continua necesidad de utilizar grandes cantidades de combustibles fósiles para sostener su crecimiento económico.

A no ser que haya brechas tecnológicas, cambios dramáticos en la política pública, o la interrupción de provisiones de combustible fósil, probablemente el cambio será lento. La pregunta de por cuánto tiempo los combustibles fósiles seguirán dominando la industria de energía a menudo es estudiada desde un punto de vista técnico, preguntando cuánto de las cantidades actualmente conocidas de fuentes de energía probablemente estarán disponibles en las próximas décadas. Sin embargo, un examen superficial muestra que el suministro de combustibles fósiles no es un problema inmediato en términos de reservas probadas. Esperan que el carbón pueda durar al menos 250 años en tarifas de uso constantes. El petróleo y el gas deberían durar al menos 50 años más (Kruger, 2006). Las reservas no probadas del petróleo y el gas podrían añadir al menos unas décadas más a estas estimaciones.

### **2.11 Análisis de ciclo de vida**

El concepto de realizar un examen detallado del ciclo de vida de un producto o un proceso es relativamente reciente, ya que surgió en respuesta al aumento en la conciencia ambiental de parte de la gente, la industria y los gobiernos.

Los precursores inmediatos de la evaluación de análisis de ciclo de vida (ACV) fueron los estudios de modelismo globales y las auditorías energéticas de finales de los años 1960 y principios de los años 1970. Estos intentaban evaluar el costo de los recursos y las implicaciones ambientales de las diferentes conductas del comportamiento humano.

El ACV se hizo vital para apoyar el desarrollo de las eco-etiquetas de los esquemas que funcionan o planean funcionar en un gran número de países alrededor del mundo. Para que las eco-etiquetas puedan ser concedidas a productos escogidos, la autoridad encargada de otorgar dicha concesión tiene que ser capaz de evaluar los procesos de fabricación involucrados, el consumo de energía en la fabricación y el uso dado a la cantidad y el tipo de desechos generados.

Para evaluar con exactitud las cargas colocadas sobre el ambiente por la fabricación de un artículo, para dar un seguimiento a un proceso o al uso de un proceso, están implicadas dos etapas. La primera etapa es la recolección de datos y la segunda es la interpretación de estos datos.

Diferentes términos han sido creados para describir los procesos. Uno de los primeros términos usados era el Análisis de Ciclo de Vida, pero recientemente dos condiciones han venido a reemplazar este término: Inventario de Ciclo de Vida (ICV) y Evaluación de Ciclo de Vida (ECV). Estos términos reflejan las diferentes etapas del proceso. Otros términos el Eco-equilibrio y el Análisis de Flujo Material también son usados.

Cualquier nombre es usado para describir esto, el ACV es un instrumento potencialmente poderoso que puede ayudar a agencias reguladoras a formular la legislación ambiental, ayudar a los fabricantes a analizar sus procesos y mejorar sus productos, y quizás permitir a los consumidores tener opciones más informadas. Como la mayor parte de instrumentos, debe ser usado correctamente pese a todo. La tendencia usar los ACV para 'demostrar' la superioridad de un producto sobre otro ha traído el concepto en el desacreditación en algunas áreas.

### **2.11.1 ¿Qué es un análisis de ciclo de vida?**

Tomando como un ejemplo el caso de un producto fabricado, un ACV implica la fabricación medidas detalladas durante la fabricación del producto, la extracción de las materias primas usadas en su producción y distribución, su empleo, la posible reutilización o su reciclaje y su eventual disposición.

Los ACV permiten a un fabricante cuantificar cuánta energía y materias primas son usadas y cuantos desechos sólidos, líquidos y gaseosos son generados en cada etapa de la vida del producto.

Dicho estudio normalmente ignora los impactos secundarios generados, como la energía requerida para fabricar los ladrillos usados para construir los hornos que procesan la materia prima.

Sin embargo, decidir cuál es 'la cuna' y cuál es 'la tumba' para tales estudios ha sido uno de los puntos de discusión en la relativamente nueva ciencia de los ACV. Los procedimientos de evaluación de ciclo de vida (ACV) son la parte de la ISO 14000, normas de dirección ambientales como: ISO 14040:2006 y 14044:2006. (La ISO 14044 substituyó las primeras versiones de ISO 14041 a la ISO 14043) (Bland, 2007).

La realización de un ACV se divide en cuatro etapas: Objetivo y alcance, inventario de ciclo de vida, evaluación del impacto de ciclo de vida y la interpretación.

### **2.11.2 Objetivo y alcance**

En la primera fase, el ACV formula y especifica el objetivo y el alcance del estudio en relación con aplicación deseada. El objeto de estudio es descrito en términos de una supuesta unidad funcional. Aparte de la descripción de la unidad funcional, el objetivo y el alcance deben ser dirigidos a establecer las fronteras del sistema. El límite del sistema determina cuales procesos son incluidos en el ACV y se deben reflejar en el objetivo del estudio. En años recientes, dos aproximaciones adicionales a la delimitación del sistema han surgido. Estas a menudo son llamadas el modelado 'consecuente' y el modelado 'atribucional'. Finalmente la fase del objetivo y del alcance incluye una descripción del método aplicado evaluando los potenciales impactos ambientales y que categorías de impacto son incluidas.

### **2.11.3 Inventario de ciclo de vida (ICV)**

En esta segunda fase el Inventario implica la recolección de datos y el sistema de modelado del producto, así como la descripción y la verificación de datos. Esto abarca todos los datos relacionados con el ambiental y los datos técnicos de todas las unidades de procesos relevantes dentro de los límites del estudio que componen el sistema del producto. Ejemplos de cantidades de entradas y salidas incluyen las entradas de materiales, energía, sustancias químicas y como salidas las emisiones de aire y agua o desechos sólidos. Otro tipo de intercambios como la radiación o el uso de suelo también pueden ser incluidos.

Por lo general los inventarios de ciclo de vida y el modelado son realizados usando softwares dedicados específicamente a estos fines. Dependiendo del software usado es posible modelar el costo del ciclo de vida y los impactos sociales del ciclo de vida en paralelo con el ciclo de vida ambiental.

Los datos deben ser relacionados con la unidad funcional definida en la definición del objetivo y del alcance. Los datos pueden ser presentados en tablas y algunas interpretaciones pueden ser hechas en esta etapa. Los resultados del inventario son un ICV que proporciona la información sobre todas las entradas y salidas en forma de un flujo elemental de todas las unidades de procesos implicadas en el estudio.

#### **2.11.4 Evaluación del ciclo de vida**

La tercera fase está dirigida a la evaluación de la contribución de las categorías de impacto como el calentamiento global, la acidificación, etc. El primer paso es la llamada caracterización. Aquí, los potenciales de impacto son calculados basados en los resultados del ICV. Los siguientes pasos son la normalización y la denotación de prioridades, pero ambos son realizados mediante estándares ISO. La normalización proporciona una base para comparar los tipos diferentes de categorías de impacto ambiental (todos los impactos tienen la misma unidad). La denotación de prioridades implica la asignación de un factor de importancia a cada categoría de impacto dependiendo su importancia relativa.

#### **2.11.5 Interpretación**

La etapa de interpretación es la más importante. Un análisis de las principales contribuciones, el análisis de sensibilidad y el análisis de incertidumbre conduce a la conclusión de si las metas del objetivo y el alcance pueden ser alcanzadas. Lo más importante: ¿Qué se puede aprender del ACV? Todas las conclusiones son bosquejadas durante esta fase. A veces una revisión crítica e independiente es necesaria, especialmente cuando las comparaciones son hechas por el público.

#### **2.11.6 Usos y herramientas del análisis de ciclo de vida**

Basado en una encuesta realizada por practicantes de ACV en 2006, se determinó que la mayor parte de evaluaciones de ciclo de vida son realizadas con paquetes de software especializados. El 58 % de los encuestados usó el Software GaBi, desarrollado por PE International, el 31 % usa SimaPro desarrollado por PRé Consultants y el 11 % diferentes herramientas. Según la misma encuesta el ACV es usado sobre todo para apoyar las estrategias de negocios (el 18 %) y R&D (el 18 %), como entrada al diseño de proceso (el 15 %), en la educación (el 13 %) y para el etiquetaje o declaraciones de producto (el 11 %) (Cooper, 2006).

#### **2.11.7 El Software GaBi**

Nuevas funciones y tecnologías hacen de GaBi un instrumento universal para dirigir la necesidad de sustentabilidad de datos administrativos y la evaluación sobre la organización, las instalaciones, los procesos o el nivel de ciclo de vida de un producto.

El software GaBi proporciona soluciones para diversos problemas referentes a los costos, el ambiente, criterios sociales y técnicos, optimización de procesos y manejo de la representación externa en estos campos.

GaBi es útil para:

- Contabilidad de emisiones de Gases Efecto Invernadero

- Evaluación del Ciclo de Vida
- Ingeniería del Ciclo de Vida
- Diseño ambientales
- Estudios de eficiencia energética
- Análisis de flujo de sustancias
- Ecobalances empresariales
- Reportes ambientales
- Reportes de sustentabilidad
- Manejo estratégico de riesgos
- Contabilidad analítica de costos totales

Existen más situaciones donde el software GaBi puede apoyar al manejo de sustentabilidad con datos concisos, indicadores y evaluaciones. La versátil funcionalidad del software GaBi permite al usuario descubrir nuevas dimensiones y conduce a estándares avanzados debido a su fácil operación y flexibilidad:

- Facilita la planeación de procesos
- Cálculo automático de redes complejas de procesos
- Proyectos de proceso jerárquicamente combinables
- Modelismo de ecuaciones no lineales
- Uso sencillo de métodos de asignación
- Control de entereza y consistencia
- Indicadores de calidad de datos
- Despliega flujo de nombre y cantidades
- Despliega imágenes de proceso definidas por usuario (PEI, 2009)

#### **2.11.8 El Software SimaPro**

SimaPro es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRÉ Consultants, que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV), mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM).

El SimaPro ofrece una herramienta profesional para almacenar, analizar y realizar un seguimiento del rendimiento ambiental de productos y/o servicios. Con esta herramienta se facilita el análisis y la representación gráfica de ciclos complejos de un modo sistemático y transparente.

Este software tiene todas las características que se pueden esperar de un paquete de software ACV profesional:

- Una familia de productos completa, con una solución SimaPro para cualquier necesidad
- Interfaz Intuitiva del usuario
- Modelaje sencillo, con poderosos wizards que asisten al usuario

- Modelaje con parámetros y análisis de escenarios
- ACV híbrido con entradas y salidas para la información
- Conexión directa con Excel o bases de datos ASP
- Cálculos de evaluación de impacto directo en cada etapa de su modelo
- Análisis de Monte Carlo
- Todos los resultados son mostrados en una sola ventana de manera conveniente
- Análisis de resultados interactivos: Rastreo de resultados hasta sus orígenes, en tiempo real
- Agrupación de los resultados
- Análisis de puntos débiles: Usa un árbol de procesos para identificar si hay alguna zona peligrosa
- Vastas opciones de filtraciones para todos los resultados
- Analiza escenarios complejos para tratamiento de desechos y reciclaje (PRC, 2009)

### 3.1 Biomasa

Los biocombustibles son renovables y sustentables. Se producen a partir de cultivos agrícolas como caña de azúcar, plantas oleaginosas, biomasa forestal y otros. Pueden ser usados de manera directa o añadido a combustibles convencionales, como diésel, etanol, metanol, etileno y carbón vegetal. Por ejemplo, 50, 15, 320 y 6100 ppm biocombustibles con una concentración del 2 %, el 5 %, el 20 % y el 40 % de biodiesel, respectivamente.

De acuerdo con la Sociedad Americana de Recursos y Biomasa (SAR), el biocombustible se define como cualquier producto derivado de la biomasa que se utiliza para generar energía.



## CAPÍTULO 3

# ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA EN MÉXICO

Hay fundamentos científicos que sustentan la producción de biocombustibles. La combustión directa para plantas móviles, la gasificación para producir gas, la producción de gasolinas también denominada "sintética".

Para que el carbón pueda formarse, deben de darse una serie de condiciones tanto bioquímicas como geológicas. En un principio se requiere de un lugar con humedad y presión favorables para un rápido crecimiento vegetal y con aguas ricas en nutrientes para la descomposición de la vegetación se dé en condiciones anaeróbicas o carencia de oxígeno. Este lugar se denomina pantano de turba. Si las condiciones son lo suficientemente buenas, se

### **3. Biocombustibles**

Los biocombustibles son renovables y son obtenidos de productos agrícolas como caña de azúcar, plantas oleaginosas, biomasa forestal y otras fuentes orgánicas. Pueden ser usados de manera directa o añadido a combustibles convencionales, como biodiesel, etanol, metanol, metano y carbón vegetal. Por ejemplo, B2, B5, B20 y B100 son combustibles con una concentración del 2 %, el 5 %, el 20 % y el 100 % de biodiesel, respectivamente.

De acuerdo con la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), el biodiesel técnicamente es definido como: Un combustible compuesto de mono-alcanos de cadena larga de ácidos grasos que se encuentran en grasas animales y vegetales.

Las mezclas en dimensiones volumétricas entre el 5 % y el 20 % son las más comunes. La mezcla de B5 no requiere ninguna modificación en los motores. El biodiesel es absolutamente miscible y también física y químicamente similar al diesel mineral, y puede ser usado en motores de ignición de compresión sin ajustes significativos.

Cualquier cantidad de etanol puede ser mezclada con la gasolina. Sin embargo, las mezclas más comunes son E10 y E85, que contiene una concentración de 10% y el 85 % de etanol, respectivamente. El 100 % de etanol puede ser usado como el combustible de automotor, pero las mezclas entre 25 y el 85 % sólo pueden ser usadas por coches duales de combustible. Actualmente el etanol es el combustible principal combustible en Brasil, y como aditivo aumentar el número de octanos en la gasolina en países como los Estados Unidos, Canadá e India (Escobar y col., 2008).

#### **3.1 Biocombustibles sólidos**

##### **3.1.1 Carbón**

El carbón es una compleja mezcla de sustancias que se han ido integrando como un mineral a lo largo de millones de años. Estrictamente hablando, el carbón se clasifica como una roca sedimentaria de origen fósil, originada de restos de vegetales sometidos a largos procesos de presión y temperatura. Este origen lo relaciona con otros combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural y, junto con ellos, constituye la fuente más importante de energía hasta ahora usada por el hombre.

Hay fundamentalmente cuatro formas de dar uso al carbón: La coquización para uso metalúrgico, la combustión directa para plantas termoeléctricas, la gasificación (que puede dar lugar a combustibles como el gas natural “sintético”) y la licuefacción, para la producción de gasolina también denominada “sintética”.

Para que el carbón pueda formarse, deben de reunirse una serie de condiciones tanto bioquímicas como geoquímicas. En un principio se requiere de un lugar cuya humedad y clima sean favorables para un rápido crecimiento vegetal y con aguas cuya profundidad permita que la descomposición de la vegetación se dé en condiciones anaerobias, o carentes de oxígeno. Este lugar se denomina pantano de turba. Si las condiciones son lo suficientemente anaerobias, la

turba formada por el proceso resultante de putrefacción dará lugar a carbones sapropélicos (tipos *cannel* y *boghead*), con alto contenido de hidrocarburos y poco abundantes en la corteza terrestre. Si la anaerobiosis no es muy estricta, la turba dará origen a los carbones húmicos, que con mayor frecuencia se usan hoy en día. El proceso geoquímico por el cual la turba se convierte en carbón aún se da en la actualidad y toma millones de años en efectuarse. La turba es sometida a este proceso a altas presiones y temperaturas, que la comprimen y facilitan el cambio en su composición física y química. A medida que transcurre el proceso de transformación del carbón, se pierden cantidades de hidrógeno y oxígeno y material volátil. Como consecuencia, el contenido de carbón va aumentando, así como su valor calorífico y, por tanto, su rango o grado de evolución que va desde la turba hasta la antracita (Davis, 1990).

Es de esperarse que ciertas zonas de la corteza terrestre hayan existido diferentes condiciones que dieron origen a los diversos tipos de carbón que se conocen. Dada esta diversidad y su innegable importancia comercial, se hace necesario clasificar, de alguna manera, la calidad del carbón. El análisis de un carbón es el estudio que se realiza para determinar las características megascópicas, microscópicas y fisicoquímicas de éste. Las características megascópicas indican la presencia y forma de las bandas típicas de este mineral y son útiles durante la fase de exploración. Dentro de la caracterización microscópica, se presenta la petrografía, o análisis de macerales, que son los componentes orgánicos del carbón, como análogamente, los minerales forman parte de las rocas. Los macerales se estudian con un microscopio petrográfico de luz polarizada. La petrografía del carbón incluye la composición y reflectancia de los macerales. La reflectancia del maceral representa el porcentaje de luz reflejada por una muestra representativa de éste, generalmente vitrinita, e indica el grado o rango del carbón (Grainger, 1981).

Para la determinación de las características fisicoquímicas existen diferentes métodos. Uno de los más utilizados es el de la American Society for Testing and Materials (ASTM), en especial la norma ASTM D388, que se utiliza para obtener el rango del carbón en cuestión. Se procede a determinar el contenido de carbón fijo, la materia volátil y el poder calorífico, de acuerdo con las llamadas fórmulas de Parr, o bien las fórmulas de aproximación:

Fórmula de Parr

$$CF = \frac{(Cf - 0.15S) * 100}{[100 - (H + 1.08A + 0.55S)]}$$

$$MV = 100 - CF$$

$$BTU = \frac{(Btu - 50S) * 100}{[100 - (1.08A + 0.55S)]}$$

Fórmula de aproximación

$$CF = \frac{Cf * 100}{[100 - (H + 1.1A + 0.15S)]}$$



$$MV = 100 - CF$$

$$BTU = \frac{Btu * 100}{[100 - (1.1A + 0.1S)]}$$

Donde:

CF= Por ciento de carbón fijo, seco, libre de materia mineral

Cf= Por ciento de carbón fijo, base como se recibe

MV= Por ciento de materia volátil, seca, libre de materia mineral

BTU= Poder calorífico, en BTU/lb, húmedo, libre de materia mineral

Btu= Poder calorífico, en BTU/lb, base como se recibe

H= Por ciento de humedad, base como se recibe

A= Por ciento de cenizas, base como se recibe

S= Por ciento de azufre

El análisis fisicoquímico de un carbón describe su composición analítica, además de sus características físicas. Existen dos métodos químicos tradicionales de análisis, denominados próximo o inmediato y último o elemental. El análisis próximo consta de la determinación de la humedad total, la materia volátil, el carbón fijo y la ceniza. El análisis último consiste en la determinación de las proporciones de los principales elementos químicos contenidos en el carbón: Carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno y oxígeno. Este último se estima generalmente por diferencia. Se incluye generalmente en el análisis del carbón la determinación del contenido de azufre en sus variedades orgánico, pirítico y sulfatos.

Adicionalmente a los análisis mencionados, se pueden mencionar pruebas físicas en la caracterización del carbón, que incluyan propiedades como grado o cantidad de contaminantes presentes, tamaño, dureza, densidad, etcétera (Cooper, 1984).

### **3.1.1.1 Aspectos internacionales del carbón y sus principales reservas**

De los combustibles fósiles, el carbón en general representa más del 70% de las reservas probadas hasta ahora. Las cifras se basan en la información geológica y técnica que califican a éstas como “económicamente recuperables”.

En 1981 se manejaba la cifra de 884,000 MTC (Millones de Toneladas de Carbón). En 1990 se alcanzó el valor de 1,078,734 MTC. Lo anterior refleja una tendencia natural; conforme pasa el tiempo, se tienen estudios más completos y técnicas más modernas para las estimaciones mencionadas, aunque, desde luego, cada año hay que descontar el consumo que de este combustible se ha tenido.

Se presenta la Tabla 3.1, con datos de 1990 y la Figura 3.1 con datos de 2006 que muestran la distribución de las reservas de todo tipo de carbón en el mundo. De esta información se puede ver que más del 60% de las reservas se concentran en tres países: EEUA, la antigua URSS y China.

**Tabla 3.1 Distribución de las reservas de carbón a nivel mundial en MTC, en 1990 (CFE, 1992)**

País	Antracita y bituminoso	Subbituminoso y lignito	Total	%	Reservas/Producción [Años]
EEUA	129,543	130,752	260,295	24.1	294
Antigua URSS	102,496	136,520	239,016	22.1	352
China	152,831	13,292	166,123	15.4	170
Australia	44,893	45,461	90,354	8.4	464
Alemania	23,698	54,964	78,662	7.3	184
India	60,098	1,874	61,972	5.7	305
Sudáfrica	54,811	-	54,811	5.1	304
Polonia	28,182	11,487	39,669	3.7	160
Colombia	9,612	-	9,612	0.9	506
Canadá	3,716	3,044	6,760	0.6	96
Brasil	1,933	2,323	4,256	0.4	506
México	1,566	663	2,229	0.2	223
Resto del mundo	23,657	41,691	65,348	6.1	167
Total	637,036	442,071	1,079,107	100.0	287

Relativo al rango de carbón se puede observar que existe del orden de un 60% entre los tipos antracíticos y bituminosos, mientras que el 40% restante lo constituyen las clases de subbituminosos y lignitos (CFE, 1992).

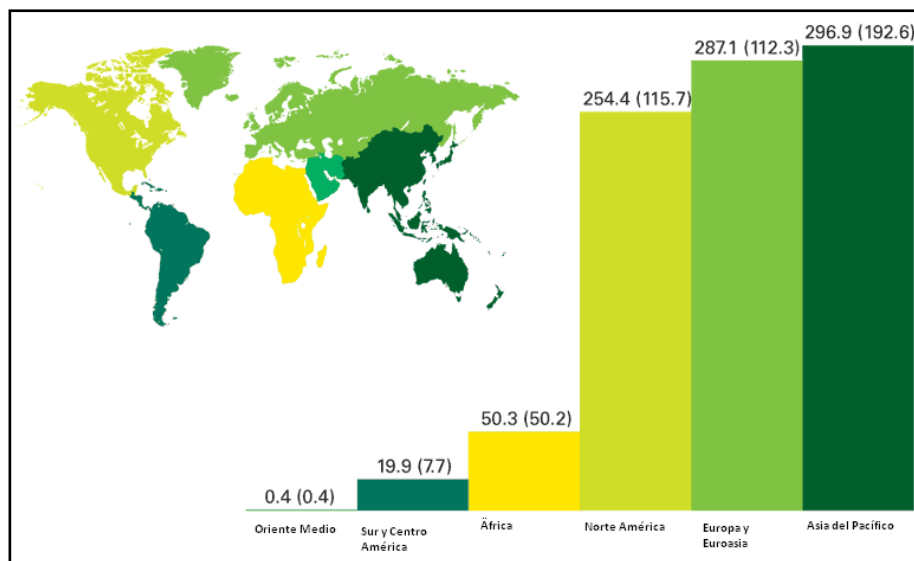


Figura 3.1 Distribución de las reservas de todo tipo de carbón en el mundo (BP, 2007)

### 3.1.1.2 Principales productores

La producción mundial en 1990 alcanzó la cifra de 3,426 MTC. Ésta se llevo a cabo en un alto porcentaje (80.3%) por los mismos tres países que poseen la mayores reservas de carbón, es decir, EEUUA, la antigua URSS y China. El primer lugar lo ocupa China con una producción anual de 800 MTC, EEUUA el segundo lugar con una producción anual de 750 MTC y la antigua URSS el tercer lugar con una producción anual de 500 MTC. El resto de los productores importantes de carbón se encuentran por debajo de las 200 MTC, es decir: Polonia, Sudáfrica en el rango de 150 a 200 MTC, y finalmente Canadá y Colombia con 40 MTC y 20 MTC, respectivamente.

China: La industria minera es la segunda en importancia en este gran país. Cuenta con aproximadamente 64,000 minas de carbón en explotación. China ocupó el sexto lugar como exportador de este mineral, con 11.2 MTC en 1990; cifra que sólo representa el 2.1% de su producción de carbón. China espera estar exportando anualmente unas 25 MTC hacia el año 2000, sirviendo principalmente a la zona sur del continente asiático y a la cuenca del pacífico.

EEUUA: En este país se encuentran las mayores reservas de carbón térmico y coquizable del mundo. Estados Unidos consume buena parte de lo que produce. Cuenta con aproximadamente 1,200 minas en explotación.

Australia: Es el sexto productor más importante de carbón en el mundo y el primer exportador. La relación de reservas a producción es de 464 años y es quizás el país que más orienta su producción hacia los mercados de exportación. Cuanta con 96 minas en operación, 70% de las cuales se dedican a la exportación. Se pronostica que para el año 2000 se podrán exportar del orden de 90 MTC.

Sudáfrica: Ocupa el quinto lugar como principal productor de carbón y el segundo en exportación de carbón tipo térmico. Se pronostica que la producción y exportación permanecerán alrededor de los niveles actuales, aunque tendrá que ganar terreno en el mercado de Europa occidental.

Colombia: Octavo lugar como productor y exportador. Su relación de reservas a producción es de 506 años, siendo esta cifra también la más alta entre los ocho principales productores mundiales. El carbón colombiano se ha colocado favorablemente en el mercado europeo en los últimos años debido principalmente al rechazo de algunos países de este continente al carbón sudafricano por motivos políticos.

Canadá: Este país cuenta con las reservas más modestas entre los ocho países productores de carbón. Su relación de reservas es de 96 años. Planea aumentar en 12.9 MTC/año su capacidad de minado, lo que representa un incremento de aproximadamente 34%. Es importante destacar que más del 70% de la producción de este país es del tipo metalúrgico o coquizable y en los próximos años la demanda de este tipo de carbón tenderá a decrecer debido a la preferencia, por los productores de acero en todo el mundo, a utilizar los hornos eléctricos que consumen una muy reducida cantidad de este carbón.

Antigua URSS y Polonia: Estos dos países producen y suministran prácticamente todo el carbón que se consume en el llamado bloque socialista. La antigua URSS ocupa el segundo lugar en cuanto a reservas recuperables y es el tercer productor mundial después de China y los Estados Unidos. Polonia por su parte ocupa los lugares octavo y cuarto, respectivamente. El carbón que exportan estos dos países se mueve en su mayoría por vía férrea, principalmente para alimentar centrales generadoras distribuidas a lo largo de Europa occidental (CFE, 1992).

### **3.1.1.3 Aspectos nacionales**

La Comisión Federal de Electricidad, preocupada por reestructurar las fuentes de energía en México, en 1960 inició trabajos de exploración de carbón térmico para poder utilizarlo en la generación de energía eléctrica. A partir de esta fecha se han realizado varias campañas exploratorias en diferentes regiones del país, particularmente en la cuenca Villa de Fuentes – Río Escondido, en las cercanías de la ciudad de Piedras Negras en el estado de Coahuila como se muestra en la Figura 3.2, región en la que se tenían bastantes evidencias de existencia mineral. La mayor parte de las reservas de carbón térmico se localizan en el estado de Coahuila. Siendo esta región la única donde se produce carbón coquizable (CFE, 1992).

En el 2007 la producción de carbón mineral aumento 8.9%, con lo cual ésta fuente de energía incremento su participación a 2.4% del total de la producción de energía primaria e s decir 251,237 PJ, como se muestra en la Figura 3.2. Lo anterior se explica por el aumento de la producción de carbón térmico, que paso de 8,573.e MTC en 3006 a 10,456.4 MTC en 2007, y de carbón siderúrgico de 1,913.6 MTC en 2006 a 2,058.1 MTC en 2007, como se muestra en la Figura 3.2.

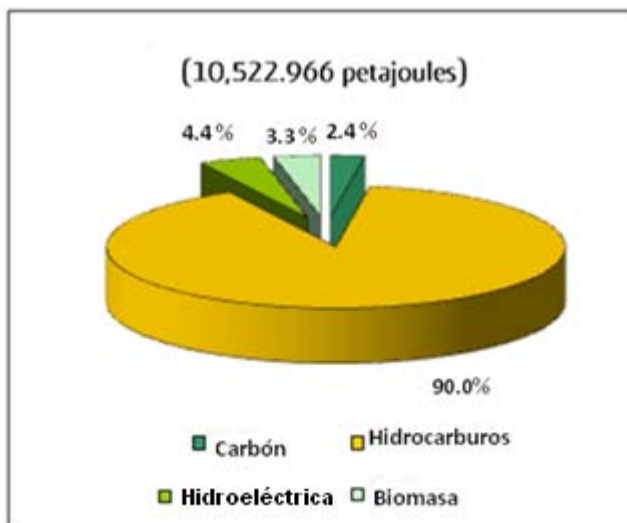


Figura 3.2 Estructura de la producción de energía primaria en México en 2007 (SENER, 2007)

Las exportaciones de carbón mineral aumentaron 160.1% entre 2006 y 2007 (0.188 PJ), mientras que las importaciones disminuyeron 27.7% (144.447 PJ). Por esta razón, el déficit de la balanza comercial de carbón mineral alcanzó los 144.3 PJ, 27.8% menor al observado en 2006, el cual fue de 199.7 PJ (SENER, 2007).

### 3.1.2 Leña

La madera está compuesta por fibras leñosas, nitrógeno, savia y agua. El nitrógeno forma parte de la estructura vegetal de la madera. La savia es una disolución acuosa con sales inorgánicas, azúcares, celulosas, etc. El agua es el principal componente no inflamable de la madera.

En invierno es cuando la madera contiene menos agua. El porcentaje de las cenizas o residuos de la combustión es pequeño. Suelen contener fosfatos, silicatos, carbonatos, sodio, potasio, hierro, magnesio, manganeso.

El proceso de formación de la madera es un proceso endotérmico. Su temperatura de inflamación se sitúa por los 250-300 °C. Arde con llama larga. Las unidades de medición son:

- Metro Cúbico: Masa de madera maciza que llena 1 m<sup>3</sup>
- Estéreo: Cantidad de leña partida y apilada que llena el volumen aparente de 1 m<sup>3</sup>

Clasificación de las maderas: Atendiendo al peso específico y a la resistencia que presenten se pueden clasificar en:

- Duras: Peso específico mínimo de 0.55. Proceden de árboles con hoja ancha, como pueden ser el manzano, peral, cerezo, nogal, roble, haya, etc.
- Blandas: Peso específico menor de 0.55. Son el pino, abeto, tilo, etc.

Se estima que la mitad de la población del mundo, la mayoría ubicada en los países en desarrollo, utiliza biomasa para cocinar sus alimentos. El biocombustible con mayor uso es la leña,

sin embargo en muchos lugares se usa estiércol, residuos de cosechas y carbón vegetal (Trossero, 2002). Trossero (2002) reporta que el 60% de la madera usada en el mundo se destina a energía; siendo los países en desarrollo, que concentran alrededor del 77% de la población mundial, los que utilizan el 76% del total. Dentro de los países en desarrollo, destaca Asia que demanda el 44% de la madera total como se muestra en la Figura 3.3.

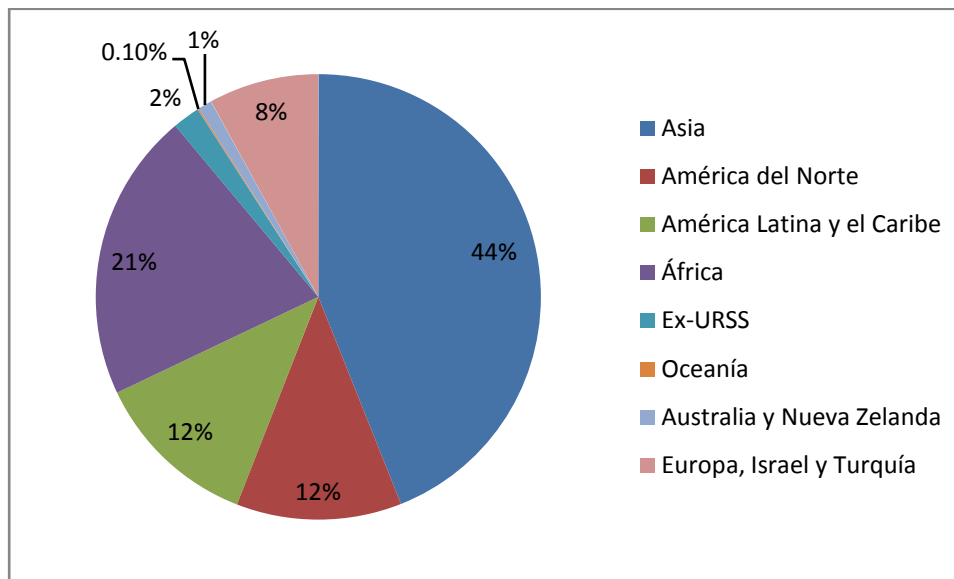


Figura 3.3. Consumo mundial de madera para energía en 2000 (% por región) (Trossero, 2002)

Durante mucho tiempo se consideró que la dinámica de uso de la leña era función directa del crecimiento de la población, sin embargo estudios detallados muestran una relación más compleja. Actualmente se considera que la dinámica de uso de la leña es función de la interacción de factores relacionados con la oferta y la demanda, entre los que destacan: Los sistemas locales de producción, las condiciones biofísicas asociadas con el estado de los recursos naturales, variables socioculturales y tecnológicas y la estructura socioeconómica (Masera, 1995). Específicamente, el consumo de leña está relacionado con otras variables como educación, acceso a los recursos forestales y medios de transporte, prácticas de cocinado y otros factores, siendo que la producción maderable regulada del país, que en los últimos 15 años ha oscilado entre 40 y 45 millones de m<sup>3</sup>/año, de la cual el 85% se utiliza de la siguiente manera: 24.9 Mm<sup>3</sup>/año en el sector doméstico de autoconsumo, 6 Mm<sup>3</sup>/año en el sector doméstico comercial, 6 Mm<sup>3</sup>/año en el sector de las pequeñas industrias, y 0.7 Mm<sup>3</sup>/año para producir carbón vegetal. Mientras que el 15% se utiliza para exportación. La leña tiene un poder calorífico de 4.9 GJ por m<sup>3</sup> (Masera, 1997).

Asimismo, todavía existe la falsa creencia de que la pobreza es la principal barrera para la adopción de tecnologías modernas. La teoría conocida como “escala de preferencias” considera que con el aumento de los ingresos de las familias, automáticamente se asciende al combustible superior, los cuales van de los más contaminantes a los más limpios. Sin embargo existe evidencia de que esto no sucede, ya que cuando las familias rurales tienen acceso al gas (económico y de infraestructura) no dejan de usar la leña, y el gas es utilizado sólo como combustible complementario (teniendo un papel parecido al horno de microondas en las ciudades). Además, las tareas con mayor demanda energética (tortillas, nixtamal, frijoles) se continúan realizando con leña, por lo que el ahorro energético y económico no es significativo (Masera y col., 2000).

### 3.1.2.1 Uso de tecnologías tradicionales

La principal tecnología empleada para la cocción de alimentos es el fogón abierto, tradicional de tres o más piedras, tipo U o doble U. Su uso es generalizado, tanto en climas cálido como fríos; en los lugares templados y fríos además de la cocción se usa para el calentamiento interior de las viviendas. Este dispositivo se continúa usando porque tienen varias ventajas:

- Son económicos o no tienen ningún costo
- Fáciles de construir
- Fáciles de usar y de controlar
- Fáciles de cambiar de lugar
- Se pueden usar diferentes combustibles
- Se adaptan a las formas de los recipientes

Sin embargo su principal problema es la baja eficiencia, la cual oscila entre el 5% y el 17% (Dutt y col., 1987). Esta baja eficiencia ocasiona un elevado consumo de leña, además de grandes niveles de contaminación interior.

### 3.1.2 .2 Efectos ambientales

Cuando se usa de manera renovable, la biomasa como fuente de energía posee efectos favorables para el ambiente; ya que sirve como reservorio para el CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuye a la fertilización y estabilización de los suelos y mejora sus características físicas. Asimismo, reduce la filtración de agua y evita la desertificación. Por otra parte, su bajo contenido de azufre evita los efectos dañinos de los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), que se observan en grandes cantidades en los combustibles convencionales. Respecto al CO<sub>2</sub> se considera que es neutro en este tipo de emisiones, ya que en el proceso de combustión se libera la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que absorbe del ambiente en su desarrollo (Charless, 1994); además en los procesos naturales de descomposición, la madera demanda la misma cantidad de oxígeno que mediante la combustión (Martínez, 1986). Por otra parte la conversión de desechos orgánicos en combustible, además de proporcionar energía, reduce el peligro ambiental asociado con su mala disposición.

Específicamente en muchas de las comunidades rurales, donde el principal combustible es la leña y la recolección es su mayor forma de obtención, la leña proviene de árboles, ramas y arbustos muertos (Arias, 1993). Este mecanismo ayuda a la conservación de los bosques y previene los incendios.

Por el contrario el uso no renovable o irracional de madera para combustible puede acelerar el deterioro de los bosques. La degradación forestal produce efectos negativos locales, regionales y globales. Localmente la carencia de leña puede ocasionar grandes problemas económicos porque se elimina una fuente de ingresos y conflictos sociales debido a que la extracción se realiza en otras propiedades (robo de madera). Sin embargo, la deforestación a media y gran escala no es causada por la extracción de leña como generalmente se supone, sino en mayor medida por las siguientes actividades (Olgún, 1994):

- Cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola y pastoril principalmente
- Explotación irracional para la obtención de madera industrial, con un mínimo o nulo porcentaje de reforestación
- Incendios forestales incontrolables
- Obtención de leña para pequeñas industrias

En el ámbito global, el uso no renovable de los biocombustibles contribuye al incremento de los gases de efecto invernadero, CO<sub>2</sub> principalmente, a la pérdida de acuíferos y a la disminución de la biodiversidad.

### **3.2 Biocombustibles líquidos**

#### **3.2.1 Biodiesel**

El término biodiesel puede resultar ambiguo, ya que en un principio engloba a distintos tipos de productos cuando son utilizados como combustibles diesel:

- Aceites vegetales
- Aceites vegetales mezclados con gasóleo en proporciones variables
- Aceites vegetales mezclados con disolventes: Microemulsiones
- Productos resultantes de la pirólisis de aceites vegetales
- Ésteres metílicos o etílicos preparados a partir de aceites vegetales o grasas animales

La definición de biodiesel hace referencia a los ésteres metílicos y etílicos de origen natural, obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites (también aceites usados de estufas) o grasas animales, pero también a partir de la esterificación de ácidos grasos y que se emplean como combustibles (Mittelbach, 2000).

El biodiesel, típicamente, contiene hasta 14 tipos diferentes de ácidos grasos que son químicamente transformados en ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME: Fatty Acid Methyl Esters por sus siglas en inglés) como se muestra en la Tabla 3.2.

Los ésteres alquílicos de ácidos grasos, objeto de combustible diesel, se obtienen a partir de la transesterificación de aceites y grasas con alcoholes de bajo peso molecular (alcohólisis), en presencia de un catalizador adecuado. El caso particular de la alcohólisis con metanol, que es el más común, para formar ésteres metílicos de ácidos grasos se denomina metanólisis. En el proceso se produce también glicerina como producto secundario. Tras su separación, los ésteres formados son tratados para separar una parte del alcohol no reaccionante (50%) y eliminar restos de impurezas. A su vez, la glicerina también se purifica para poder ser utilizada en sus aplicaciones tradicionales. En la purificación se separa otra parte del alcohol no reaccionante y ácidos grasos, que pueden esterificarse de nuevo para formar más biodiesel o utilizarse como materia prima para producir jabón u otros productos. La Figura 3.4 ilustra el diagrama de flujo del proceso de producción de biodiesel.



Tabla 3.2 Fórmula estructural de los ácidos grasos usados en el biodiesel (NREL, 2001)

Nombre del ácido graso	Número de carbonos y dobles enlaces	Estructura química
Caprílico	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
Cáprico	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Láurico	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Mirístico	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmítico	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmitoléico	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Estearico	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oléico	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoléico	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolénico	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Aratídico	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Eicosenóico	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$
Behénico	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Euréico	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

= Indica enlace doble

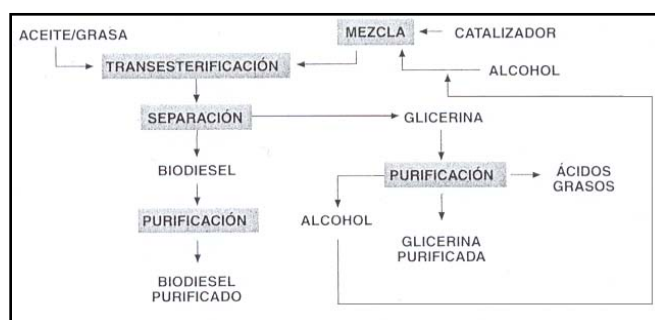


Figura 3.4 Diagrama de flujo del proceso de producción de biodiesel (Crespo, 1999)

El esquema global de la reacción de alcoholísis para dar ésteres metílicos se refleja en la Figura 3.5. Según la estequiometría de la reacción global, por cada mol de triglicérido a transesterificar se necesitan tres moles de ésteres metílicos y un mol de glicerina. La reacción supone la transformación de las moléculas de triglicéridos, que son grandes y ramificadas, en moléculas de ésteres metílicos de ácidos grasos, que son lineales y no ramificadas, más pequeñas y muy similares en tamaño a los componentes del gasóleo mineral.

Químicamente, la transesterificación consiste en tres reacciones consecutivas y reversibles en las que el triglicérido se convierte consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción se produce un mol de éster metílico (EM), como se muestra en la Figura 3.6.

La alcoholísis precisa la presencia de un catalizador adecuado, que puede ser homogéneo (ácido o básico) o heterogéneo, siendo preferible la reacción con un catalizador homogéneo básico, ya que se obtienen mejores resultados, en términos de rendimiento, calidad del biodiesel y rapidez de la reacción, requiriendo presiones y temperaturas moderadas. Los catalizadores de este

tipo son bases fuertes, siendo los más comunes los hidróxidos y metóxidos (sódicos y potásicos), presentando el problema de la formación de jabones por neutralización de los ácidos grasos libres presentes en el aceite, además, en el caso de los hidróxidos se pueden formar jabones por saponificación de los glicéridos o los ésteres metílicos formados.

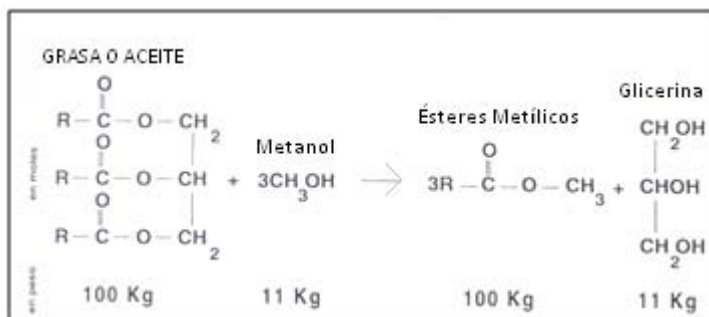


Figura 3.5 Esquema global de la reacción de alcoholísis (Crespo, 1999)

Las materias primas para la producción de biodiesel son:

1. Aceites vegetales convencionales
  - Aceite de girasol
  - Aceite de colza
  - Aceite de soya
  - Aceite de coco
  - Aceite de palma
2. Aceites vegetales alternativos
  - Aceite de *Brassica carinata*
  - Aceite de *Cynara curdunculus*
  - Aceite de *Camelina sativa*
  - Aceite de *Crambe abyssinica*
  - Aceite de *Pogianus*
  - Aceite de *Jatropha curcas*
3. Aceites de semillas modificadas genéticamente
  - Aceite de girasol de alto oleico
4. Grasas animales
5. Aceites de frituras usados
6. Aceites de otras fuentes
  - Aceite de producción microbiana
  - Aceite de microalgas

La producción de aceites vegetales es factible a partir de más de 300 especies diferentes. Aunque los cultivos arbóreos (palma, olivo, coco, etc.) suele presentar mayores rendimientos en aceites que los cultivos herbáceos, la operación de recolección es más compleja, lo que hace, que

en principio sean menos interesantes, se pueden obtener de 3 mil 750 kilos de semillas hasta mil 500 litros de biodiesel. En México se producen aproximadamente 650 mil litros de aceite vegetal al año, de los cuales solo se aprovecha el 10% de los residuos para fabricar biodiesel. El aceite de colza es la materia prima con mayor cuota de utilización en la producción de biodiesel, en segundo lugar el aceite de girasol seguido por el de soya y palma, como se muestra en la Figura 3.7. Mientras que la Figura 3.8 muestra la producción a nivel mundial de los aceites vegetales convencionales a nivel mundial en 1995.

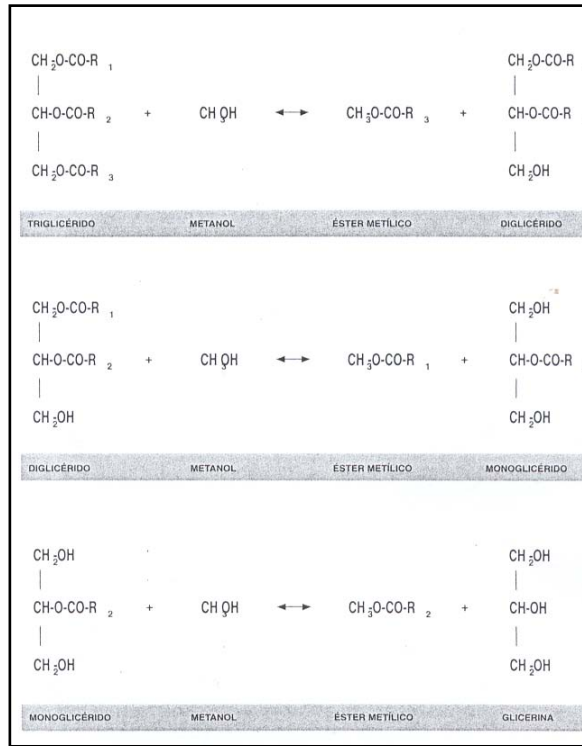


Figura 3.6 Esquema de reacción de la metanólisis (Crespo, 1999)

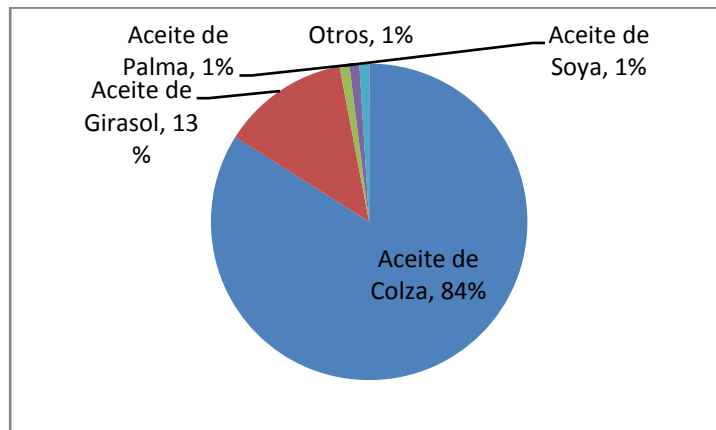


Figura 3.7 Materias primas para la producción de biodiesel (Körbitz, 2000)

Respecto a las emisiones contaminantes a la atmósfera, la utilización de biodiesel en la combustión de motores diesel y calderas ofrece ventajas medioambientales en comparación del gasóleo convencional.

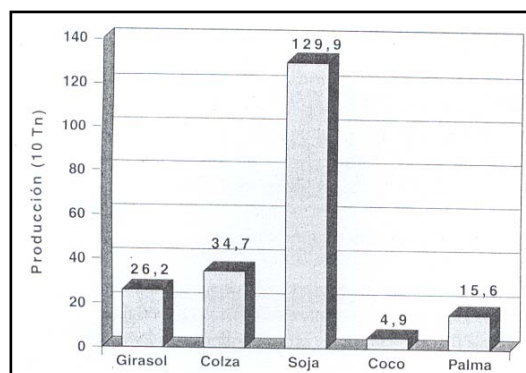


Figura 3.8 Producción mundial de aceites vegetales en 1995 (Körbitz, 2000)

Las emisiones contaminantes que se reducen en la combustión de biodiesel respecto al gasóleo de automoción son:

- Reducción de un 50% de las emisiones de monóxido de carbono (CO)
- El potencial de destrucción de la capa de ozono se reduce en un 50%
- Reducción total de las emisiones de óxidos de azufre
- Reducción de un 40% de las emisiones de partículas en suspensión
- Reducción de un 68% de las emisiones de hidrocarburos sin quemar
- Reducción de un 3% de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>)
- Reducción de más del 80% de hidrocarburos aromáticos

Sin embargo las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), aumentan ligeramente respecto al gasóleo, debido a la disminución de la temperatura del escape del motor, que a su vez conlleva una reducción de tiempo de retraso de encendido y, en consecuencia, un avance del punto de inyección. Por otra parte, cuando el biodiesel se utiliza como combustible de calefacción también se reducen considerablemente las emisiones contaminantes:

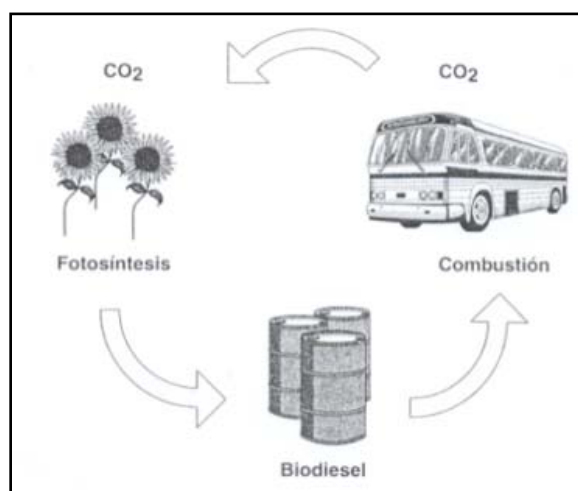
- La casi totalidad de las partículas en suspensión
- El 75% del CO
- Un 40% de NO<sub>x</sub>
- La totalidad de los compuestos aromáticos u óxidos de azufre

La capacidad de mitigación del biodiesel en México se espera que sea de 10.6 millones t CO<sub>2</sub> eq/año. La diversidad climatológica de México permite el cultivo de varias especies vegetales que pueden destinarse a la producción de materia prima para la fabricación de biodiesel. La Tabla 3.3 muestra los cultivos y los lugares donde se cosechan, mientras que la Tabla 3.4 muestra los cultivos útiles para la fabricación de biodiesel y su costo de producción.

En cuanto a emisiones de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), la utilización de biocombustibles no aumenta el nivel de las mismas en la atmósfera, ya que las emisiones de  $\text{CO}_2$  generadas durante la combustión de biocombustibles se reabsorben, a través de la fotosíntesis, en las plantas necesarias para su producción como se muestra en la Figura 3.9.

**Tabla 3.3 Estados de cosecha de cultivos para biodiesel (SAGARPA, 2007)**

Cultivo	Estado
Alcachofa	BCS,GTO,HGO,JAL,MEX,PUE,SON
Coco fruta	BCS,GRO,JAL,MICH,MOR,NAY,OAX,QROO,SIN,VER,YUC
Col (repollo)	AGS,BCN,BCS,COA,CHIA,CHIH,DF,DUR,GTO,GRO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NL,OAX,PUE,QRO,SLP,SON,TLAX,VER,YUC,ZAC
Col de Bruselas	BCN,MEX,PUE,SON
Coliflor	AGS,BCN,COA,CHIH,DF,GTO,HGO,JAL,MEX,MICH,PUE,QRO,SLP,SON,TLAX,VER,ZAC
Colza	PUE,TAM
Copra	COL,CAMP,CHIA,GRO,JAL,MICH,OAX,TAB,VER
Girasol	MEX,MOR,NAY
Mostaza	BCN,COA,GTO
Nabo	BCN,MICH,PUE
Nabo (verdura)	COA
Nabo (forrajero)	HGO
Palma africana o de aceite	CAMP,CHIA,TAB,VER
Piñón	VER
Soya	CAMP,CHIA,CHIH,NAY,SLP,TAM,VER



**Figura 3.9 Ciclo de  $\text{CO}_2$  usando biodiesel (López, 2005)**

**Tabla 3.4 Cultivos representativos para fabricación de biodiesel en México (SAGARPA, 2007)**

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Alcachofa	351.00	295.00	2,783.90	9.44	11,867.01	33,036.58
Coco fruta	13,908.75	13,111.35	105,390.44	8.04	1,529.41	161,185.13
Col (repollo)	6,282.94	6,185.94	216,433.08	34.99	1,443.42	312,402.78
Col de bruseelas	182.50	181.50	2,844.32	15.67	6,539.83	18,601.38
Coliflor	2,890.86	2,830.86	55,294.75	19.53	2,845.21	157,325.12
Colza	377.49	377.49	503.86	1.34	2,467.52	1,243.29
Copra	135,313.14	132,830.14	204,365.22	1.54	5,203.65	1,063,444.87
Girasol	3.40	3.40	6.90	2.03	6,465.22	44.61
Mostaza	23.00	23.00	385.00	16.74	1,790.91	689.50
Nabo	121.00	121.00	2,559.00	21.15	1,652.48	4,228.70
Nabo (verdura)	30.00	30.00	1,380.00	46.00	7,000.00	9,660.00
Nabo forrajero	812.00	812.00	10,366.00	12.77	719.62	7,459.57
Palma africana o de aceite	30,034.77	23,804.44	292,499.18	12.29	1,163.21	340,238.57
Piñón	540.00	540.00	35.50	0.07	60,000.00	2,130.00
Soya	73,357.00	62,580.00	88,371.29	1.41	3,642.05	321,853.00

PMR: Precio Medio Rural

### 3.2.2 Bioetanol

Se denomina así al alcohol etílico deshidratado (99.4% de pureza) utilizado en motores de combustión, que sustituyen a los hidrocarburos en forma parcial y/o total. Estos alcoholes tienen un alto contenido de oxígeno y se pueden obtener de distintas fuentes:

- Materias ricas en sacarosa: Caña de azúcar, melaza y sorgo dulce
- Materias ricas en almidón: Cereales (maíz, trigo, cebada, etc.) y tubérculos (camote, papa, etc.)
- Materias ricas en celulosa: Madera y residuos agrícolas

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que después de ser deshidratado se puede utilizar como combustible. El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión. El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 ó el 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales. La Figura 3.10 ilustra el esquema general de fabricación del bioetanol.

De acuerdo al tipo de materia prima a utilizar se emplea diferente tipo de proceso de producción, en general existen dos tipos de procesos de producción:

- Químico: En el que se utiliza el acetileno como materia prima y por medio de un proceso químico se convierte, a temperatura elevada, en alcohol metílico mediante la adición de agua en presencia de ciertos catalizadores.
- Biológico: Proceso por fermentación, que se caracteriza por la descomposición de carbohidratos, provocada por enzimas segregadas por diferentes microorganismos como levaduras, obteniendo así alcohol etílico como producto principal de la fermentación (Fowler, 1994).

Los subproductos generados dependen en parte de la materia prima utilizada. En general se pueden agrupar en dos tipos:

- Materiales lignocelulósicos: Tallos, bagazo, etc., correspondientes a las partes estructurales de la planta. En general se utilizan para valorización energética en cogeneración, especialmente para cubrir las necesidades energéticas de la fase de destilación del bioetanol, aunque también se puede vender el excedente a la red eléctrica.
- Materiales alimenticios: Pulpa y granos de destilería de maíz desecados con solubles, que son los restos energéticos de la planta después de la fermentación y destilación del bioetanol. Tienen interés para el mercado de piensos animales por su riqueza en proteína y valor energético.

Diversos estudios realizados alrededor del mundo han analizado el comportamiento de los microorganismos productores de alcohol etílico a partir de diversos sustratos, como se muestra en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Microorganismos productores de alcohol etílico a partir de varios sustratos (Ceballos, 1984)**

Sustrato	Microorganismo	Compuestos Formados	% Producción de etanol
Melazas (sacarosa), granos (almidón), jugo de caña, papas	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , <i>S. Anamensis</i> , <i>Schizosaccharomyces Pombe</i>	EtOH, CO <sub>2</sub>	90-98
Maltosa y aminoácidos	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i> , <i>S. Anamensis</i> , <i>Schizosaccharomyces Pombe</i>	EtOH, alcohol amílico, isoamílico y propílico	78-92
Maltosa, fructosa, glucosa	<i>Accharomyces Ellipsoideus</i> , <i>Zymomonas Mobilis</i>	EtOH, CO <sub>2</sub>	90-98
Suero de leche	<i>Candida Pseudotropicalis</i>	EtOH, CO <sub>2</sub>	84-94
Lejía sulfúrica y azúcares de madera	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	EtOH, CO <sub>2</sub>	39-47
Glucosa, almidón	<i>Sarcina Ventriculi</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , ácido acético y fórmico	43-44
Glucosa (agave)	<i>Pseudomona Lidneri</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , ácido láctico	41-44
Pentosas, pectina, almidón, glucógeno	<i>B. Macerans</i> , <i>B. Polymyxa</i> , <i>B. Acetoethylicum</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , acetona, ácido acético	22.5-31.2
Celulosa	<i>Cl. Thermocellum</i>	EtOH, ácido acético	35
Glucosa	<i>Cl. Kluyveri</i> , <i>Cl. Themosaccharolyticum</i> , <i>Cl. Ethylucum</i>	EtOH, ácido acético EtOH, ácido acético y láctico EtOH, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	26
Xilosa, glucosa	<i>Fusarium Lini</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , acetato	-
Glucosa	<i>Lactobasillus Plantarum</i> , <i>Leuconostoc Mesenteroides</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , lactato	-
Glucosa, xilosa	<i>Aeromonas Hydrophilia</i>	EtOH, 2,3-butanodiol	5
Glucosa, almidón, sacarosa, rafinosa	<i>Rhizopus Japonicum</i> , <i>Mucor Rouxanus</i>	EtOH, CO <sub>2</sub> , lactato EtOH	3-8

EtOH: Alcohol etílico

La caña de azúcar es la planta más aprovechable por el bagazo generado para su combustión y generación energética. La remolacha azucarera genera, por su parte, unas 0.75 Ton de pulpa por tonelada de bioetanol producido.

Para que el etanol contribuya perceptiblemente a las necesidades de combustible para el transporte, necesitaría tener un balance energético neto positivo. Para evaluar la energía neta del etanol hay que considerar cuatro variables: La cantidad de energía contenida en el producto final del etanol, la cantidad de energía consumida directamente para hacer el etanol, la calidad del etanol resultante comparado con la calidad de la gasolina refinada y la energía consumida indirectamente para hacer la planta de proceso de etanol.

Dependiendo del estudio, la energía neta varía de 0.7 a 1.5 unidades de etanol por unidad de energía de combustible fósil consumida. En comparación si el combustible fósil utilizado para extraer etanol se hubiese utilizado para extraer petróleo y gas se hubiesen llenado 15 unidades de gasolina, que es un orden de magnitud mayor. Pero, la extracción no es igual que la producción, cada litro de petróleo extraído es un litro de petróleo agotado.



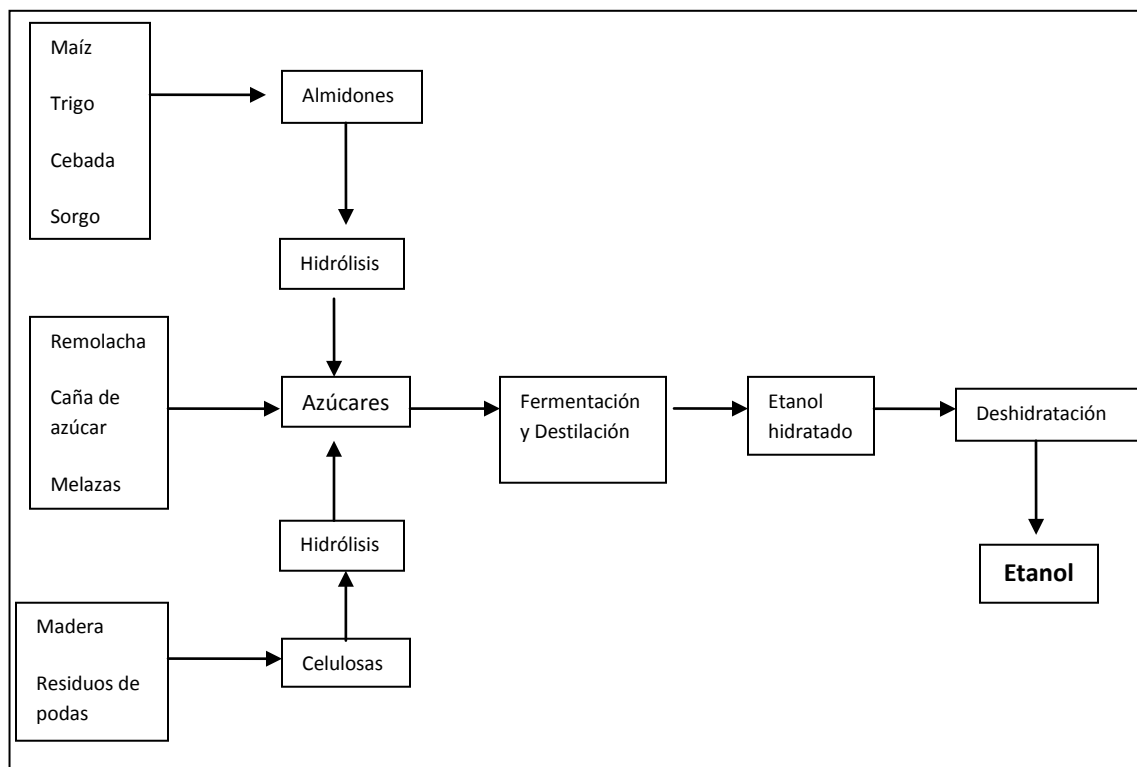


Figura 3.10 Esquema general de fabricación de bioetanol (Wright, 1998)

En base a pruebas de laboratorio se determinó el rendimiento promedio de etanol a partir de diferentes tipos de biomasa como se muestra en la Tabla 3.6. Se calcula que se necesita un balance energético de 200 %, ó 2 unidades de etanol por unidad de combustible fósil invertida, antes de que la producción en masa del etanol llegue a ser económicamente factible, la capacidad de mitigación del etanol en México se espera que sea de 10.6 millones t CO<sub>2</sub> eq/año con base en una producción a partir de caña de azúcar. Las ventajas del uso de bioetanol como combustible son:

- Es una fuente de combustible renovable
- Reduce dependencia del petróleo del extranjero
- Es una fuente más limpia de combustible
- Aumenta el octano del combustible con un coste pequeño
- Virtualmente utilizable en todos los vehículos
- Fácil de producir y almacenar
- Los biocombustibles emiten un 40-80% menos de gases invernaderos que los combustibles fósiles
- El bioetanol es superior medioambientalmente al resto de los carburantes más importantes
- Reduce la formación de la lluvia ácida
- Mejora la calidad del aire en zonas urbanas
- No contamina el agua
- Con su producción pueden reducirse los residuos

Algunas de las desventajas que presenta el usar el bioetanol como combustible puro (E100) es que se necesitan llevar a cabo una serie de modificaciones en el motor, para no alterar significativamente el consumo, estas son:

- Aumentar la relación de compresión
- Variar la mezcla de combustible/aire
- Colocar bujías resistentes a mayores temperaturas y presiones
- Colocar conductos resistentes al ataque de alcoholes
- Agregar un mecanismo que facilite el arranque en frío

A medida que aumenta la concentración de alcohol en la mezcla, la combustión libera menor cantidad de contaminantes a la atmósfera, en especial monóxido de carbono.

**Tabla 3.6 Rendimiento promedio de etanol a partir de diferentes tipos de biomasa (Kohlí, 1981)**

Materia prima de biomasa	Rendimiento de etanol por Ton. de biomasa (L/Ton)	Rendimiento de etanol por Ha. de tierra (Ton/Ha)	Rendimiento anual de etanol (L/Ha)
Caña de azúcar	70	50	3500
Madera	160	20	3200
Sorgo dulce	86	35	3010
Maíz	370	6	2220
Yuca	180	12	2160
Papa	125	15	1875
Babasu	80	3	200
Melazas	270	No significativo	No significativo

La diversidad climatológica de México permite el cultivo de varias especies vegetales que pueden destinarse a la producción de materia prima para la fabricación de bioetanol. La Tabla 3.7 muestra los cultivos y los lugares donde se cosechan, mientras que la Tabla 3.8 muestra los cultivos útiles para la fabricación de bioetanol, su costo de producción.

### 3.2.3 Producción de etanol: Tendencias de diseño y oportunidades de integración

El etanol es uno de los combustibles renovables más importantes que contribuyen a la reducción del impacto ambiental generado por el uso de combustibles fósiles a nivel mundial. Sin embargo, la producción de etanol es un proceso complicado. La transformación de recursos como cosechas energéticamente ricas (como la caña de azúcar o el maíz) o la biomasa lignocelulósica requiere el acondicionamiento y el pretratamiento de dicha biomasa para ser fermentada por microorganismos y ser convertida en etanol. Entonces, las soluciones acuosas de etanol deben ser concentradas para obtener el etanol hidrogenado. Este producto tiene que ser deshidratado para ser utilizado como un aditivo oxigenante para la gasolina, esta es la forma comercial en la cual el etanol es empleado en el sector de transporte.

La complejidad de este proceso en parte explica el por qué el etanol no juega un papel importante en comparación con los combustibles derivados del petróleo. En años anteriores debido a las crecientes preocupaciones ambientales y a las crisis periódicas de los países

exportadores de petróleo, el bioetanol, se ha consolidado como una alternativa viable y real en el mercado de energía.

**Tabla 3.7 Estados de cosecha de cultivos para bioetanol (SAGARPA, 2007)**

<b>Cultivo</b>	<b>Estado</b>
<b>Betabel</b>	BCS,GTO,HGO,JAL,MEX,PUE,SON
<b>Camote</b>	AGS,BCS,COL,CHIA,CHIH,DUR,GTO,GRO,JAL,MEX,MICH,MOR,NAY,OAX,PUE,QRO,SLP,TAB,VER,YUC,ZAC
<b>Caña de azúcar</b>	CAMP,COL,CHIA,JAL,MICH,MOR,NAY,OAX,PUE,QROO,SLP,SIN,TAB,TAM,VER
<b>Caña de azúcar otro uso</b>	BCS,COL,GRO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NAY,NL,OAX,PUE,SLP,SON,VER,YUC,ZAC
<b>Caña de azúcar semilla</b>	JAL,SLP
<b>Cebada forrajera en verde</b>	COA,CHIH,DUR,GTO,HGO,JAL,MEX,MICH,NL,OAX,PUE,QRO,SLP,SON,TLAX, VER,ZAC
<b>Cebada grano</b>	COA,DUR,GTO,HGO,JAL,MEX,MICH,OAX,PUE,QRO,SLP,SON,TAM,TLAX,VER, ZAC
<b>Maíz forrajero</b>	AGS, BCN,BCS,COA,COL,CHIH,DF,DUR,GTO,HGO,JAL,MEX,NAY,OAX,PUE,QRO,SLP,SON,TLAX,YUC,ZAC
<b>Maíz grano</b>	AGS,BCS,CAMP,COA,COL, CHIA,CHIH,DF,DUR,GTO,GRO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NAY,NL,OAX,PUE, QRO,QROO,SLP,SIN,SON,TAB,TAM,TLAX,VER,YUC,ZAC
<b>Maíz grano semilla</b>	CAMP,JAL
<b>Papa</b>	AGS,BCN,BCS,COA,CHIA,CHIH,DF,DUR,GTO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NL, OAX,PUE,SLP,SIN,SON,TLAX,VER,ZAC
<b>Remolacha forrajera</b>	DF,MEX
<b>Sorgo escobero</b>	BCS,COA,CHIH,DUR,GRO,MICH,NAY,NL,SIN,TAM,VER
<b>Sorgo forrajero verde</b>	AGS,BCN,BCS,COA,COL,CHIA,CHIH,DUR,GTO,GRO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NAY,NL,OAX,QRO,QROO,SLP,SIN,SON,TAM,VER,ZAC
<b>Sorgo grano</b>	AGS,BCN,BCS,CAMP,COA,COL,CHIA,CHIH,DUR,GTO,GRO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NAY,NL,OAX,PUE,QRO,QROO,SLP,SIN,SON,TAB,TAM,VER,ZAC
<b>Trigo forrajero verde</b>	BCN,COA,CHIH,DUR,JAL,SLP,SON,ZAC
<b>Trigo grano</b>	BCN,COA,CHIA,CHIH,DUR,GTO,HGO,JAL,MEX,MICH,MOR,NL,OAX,PUE,QRO, SLP,SIN,SON,TAM,TLAX,VER,ZAC
<b>Yuca alimenticia</b>	GRO,MEX,MICH,MOR,TAB,YUC

Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías rentables para la producción de etanol es una prioridad para muchos centros de investigación, universidades y firmas privadas, y aún para diferentes gobiernos. Debido a la vasta existencia de tecnologías completamente desarrolladas y aún en desarrollo para la producción de etanol (sobre todo de la biomasa lignocelulósica), se requiere la aplicación de procesos de ingeniería. Los procesos de ingeniería aplicados para la producción de etanol incluyen el diseño de nuevas configuraciones dirigidas a reducir los costos de producción de etanol. A través del proceso de diseño, la diversificación de productos usados para los procesos de producción de etanol se puede alcanzar si se mejora la estructura de gastos. Por otra parte, el desarrollo de tecnologías ecológicas para la producción bioetanol se puede realizar utilizando diseños de diferentes aproximaciones.

Además, la síntesis de procesos, usada como una herramienta del proceso de diseño, permite la formulación y la evaluación de muchos aspectos tecnológicos para encontrar aquellos con indicadores de funcionamiento mejorados (p.ej. índices tecnológicos, económicos y ambientales).

De este modo, el impacto de tecnologías específicas sobre el proceso global y los costos de producción puede ser entendido. La optimización de procesos es otra herramienta crucial empleada dentro del marco del proceso de diseño. La optimización juega un papel decisivo no sólo durante la experimentación, sino también durante los pasos del diseño. En particular, en el caso

de etanol producido de biomasa lignocelulósica, los costos de producción se redujeron durante los años 80's, pero ha habido pequeñas caídas en la proyección de costos hecha por el Departamento de Energía de los Estados Unidos desde 1991.

**Tabla 3.8 Cultivos representativos para fabricación de bioetanol en México (SAGARPA, 2007)**

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Betabel	1,005.75	970.25	21,594.48	22.26	3,212.29	69,367.78
Camote	2,913.63	2,906.63	59,477.14	20.46	2,472.50	147,056.96
Caña de azúcar	726,798.63	690,440.53	52,089,355.82	75.44	381.35	19,864,378.62
Caña de azúcar otro uso	16,478.07	16,313.07	586,967.41	35.98	561.65	329,671.71
Caña de azúcar semilla	2,468.00	2,468.00	200,106.61	81.08	399.08	79,858.00
Cebada forrajera en verde	35,504.00	17,281.00	384,727.25	22.26	336.31	129,388.10
Cebada grano	300,270.03	286,354.36	653,074.56	2.28	2,167.92	1,415,816.59
Maíz forrajero	354,598.57	328,311.57	10,348,756.72	31.52	331.35	3,429,014.57
Maíz grano	8,117,368.31	7,333,276.84	23,512,751.85	3.21	2,441.99	57,417,902.49
Maíz grano semilla	896.00	896.00	7,493.20	8.36	2,535.03	18,995.52
Papa	65,617.05	64,709.10	1,750,797.34	27.06	4,433.49	7,762,137.76
Remolacha forrajera	8.50	8.50	147.75	17.38	1,855.08	274.09
Sorgo escobero	12,068.29	11,664.29	38,400.56	3.29	2,992.24	114,903.87
Sorgo forrajero verde	242,145.27	234,531.59	5,258,481.77	22.42	336.53	1,769,637.16
Sorgo grano	1,868,973.91	1,774,975.36	6,202,920.10	3.50	1,924.17	11,935,457.74
Yuca alimenticia	1,245.20	1,235.20	15,159.40	12.27	3,156.88	47,856.37

Se cree que algunas tecnologías han alcanzado sus límites inherentes y otras alternativas más baratas podrían sustituirlas. Por consiguiente, modelos avanzados para la optimización de costos en la producción de etanol utilizan una aproximación sistemática que permite la identificación de oportunidades para vencer las barreras tecnológicas y que deberían ser desarrolladas (NAS, 1999). Otras cuestiones relacionadas con procesos de ingeniería como el modelado y la simulación son la base del diseño acertado de configuraciones alternativas para la producción de etanol. Esto es verdadero en el caso de fermentaciones continuas de etanol, donde el análisis dinámico es la llave para un diseño apropiado de dichos procesos.

Una de las aproximaciones más importantes para el diseño de procesos más intensivos y rentables es la integración de procesos. La integración de procesos busca la integración de todas las operaciones implicadas en la producción de etanol. Esto puede ser alcanzado por el desarrollo de bioprocesos integrados que combinan diferentes operaciones en una sola unidad. Así, la integración llevada a cabo mediante una reacción de separación que se lleva a cabo removiendo el etanol de la zona donde la biotransformación ocurre, ofrece varias oportunidades para una producción creciente del producto y por consiguiente se reducen los costos del producto. Otras formas de integración pueden reducir considerablemente los gastos energéticos en la producción de etanol. Los procesos de integración están ganando cada vez más el interés debido a las ventajas relacionadas con la producción de etanol: Reducción de gastos de energía, disminución en el tamaño y número de unidades de proceso, y la intensificación del uso de los procesos biológicos.

Revisiones muy valiosas e interesantes han sido publicadas sobre el tema de producción de etanol proveniente sobre todo de biomasa lignocelulósica (Chandrakant y Bisaria, 1998; Lin y Tanaka, 2006; Lynd, 1996; Wyman, 1994) y sobre el uso de la celulosa (Béguin y Aubert, 1994; Lynd, 2002; Zhang y Lynd, 2004). Sin embargo, el análisis de procesos de integración en la producción de etanol derivado de diferentes tipos de biomasa no han sido temas de interés para estas revisiones. Además, varias cuestiones referentes al diseño de procesos no han sido suficientemente destacadas para alcanzar el papel que la ingeniería puede llegar a jugar en la mejora de los procesos de producción de etanol.

La posibilidad de obtener una fuente de energía renovable, disponible, segura y eficaz es uno de los desafíos que la humanidad debe afrontar. Los biocombustibles, en particular el bioetanol, son una fuente de energía ecológicamente limpia, en México se producen aproximadamente 167.4 millones de litros/año de etanol, se estima que la capacidad instalada para etanol combustible sería de 35 millones de litros por año, producidos fundamentalmente en los ingenios La Gloria y San Nicolás, ambos ubicados en el estado de Veracruz.

Sin embargo, los costos de producción de etanol son más altos que los costos de producción de gasolina en algunos casos, aunque los precios del petróleo y la abundancia de biomasa para la producción de etanol son factores a favor de dicha posibilidad. No obstante, diversos grupos y centros de investigación en diferentes países continuamente realizan estudios dirigidos a reducir los costos de producción de etanol y lograr una provechosa operación industrial. Diversas tendencias de investigación y mejoras de los procesos podrían tener éxito en la tarea de reducir costos en la producción de etanol. Estas tendencias de investigación están relacionadas con los diferentes pasos de producción, la naturaleza de la biomasa usada, las herramientas de ingeniería utilizadas, y en la síntesis de procesos en su mayoría, integración y optimización. Los procesos de ingeniería podrían proporcionar una forma de desarrollar tecnologías económicamente viables y ecológicas para la producción de etanol.

Una parte importante de las tendencias de investigación sobre la producción de etanol está orientada a la reducción de los costos de la biomasa, especialmente con el uso de biomasa lignocelulosa. En general, la mayor parte de los esfuerzos de investigación están orientados a la conversión de lignocelulósicas en azúcares fermentables e intermediarios útiles (debido a la resistencia que ofrece la biomasa para ser convertida). El factor clave para mejorar la competencia de los procesos de conversión de biomasa a etanol es aumentar la actividad específica de celulosa y disminuir los costos de producción. Además, la tecnología de recombinación genética proporcionará avances importantes para el desarrollo de la industria del etanol. El desarrollo de microorganismos genéticamente modificados capaces de convertir directamente el almidón o la biomasa en etanol de manera estable en los procesos industriales permitirá la implementación de los bioprocesos de biomasa.

La síntesis de procesos jugará un papel muy importante en la evaluación de diversas ofertas tecnológicas, sobre todo aquellas relacionadas con la integración de procesos de reacción y separación, que podrían tener los mayores efectos en la economía del proceso global. Asimismo, la integración de diversos procesos químicos y biológicos para usar completamente la biomasa debería conducir al desarrollo de grandes "biorefinerías" que permitirían la producción de grandes cantidades de etanol y otros valiosos coproductos en pequeños volúmenes, mejorando la eficiencia económica de la conversión de la materia prima. Las oportunidades de integración pueden proporcionar el camino para lograr una mejora cualitativa y cuantitativa del proceso de modo que criterios no sólo tecnológicos y económicos, sino también ambientales se pueden encontrar.

Las crecientes exigencias de energía por la humanidad aumentarán la presión sobre los centros de R&D, tanto públicos como privados, para encontrar nuevas fuentes de energía renovables y por optimizar su producción y utilización. El empleo de bioetanol como una fuente de energía requiere que la tecnología para su producción proveniente de biomasa lignocelulósica este totalmente desarrollada. Colombia presenta condiciones privilegiadas en este campo que considerando la gran disponibilidad de los tres tipos de biomasa mencionadas. Aunque la opción más lógica sea la caña de azúcar, las ventajas sociales para comunidades rurales cuando existen otros tipos de biomasa como la yuca o residuos agrícolas y tropicales deberían ser consideradas.

El desarrollo de la industria de etanol muestra los complejos problemas técnicos que están afectando los indicadores del proceso global y no han sido solucionados. El creciente costo de la energía, el diseño de procesos más intensivos y compactos y la preocupación de la humanidad por el ambiente, han forzado la necesidad de emplear nuevos diseños y operaciones en los procesos de producción de bioetanol, bastante diferentes a aquellos utilizados en las viejas destilerías. El espectro de objetivos y límites que deben ser tomados en cuenta para el desarrollo de tecnologías dirigidas a la producción de biocombustibles es más amplio y diverso. Prácticamente, cada país puede producir su propio biocombustible. De este modo, el suministro de biomasa para la producción de etanol es "descentralizado" y no coincide con los centros de suministro de combustibles fósiles. Esto haría posible que la dependencia energética de petróleo de los países con intenciones de usar biocombustibles podría disminuir. Además, índices de desarrollo humano podrían mejorarse en dos formas: La creación de empleos rurales y la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Sin embargo, los costos de producción de etanol son más altos que los de combustibles fósiles, sobre todo en el caso del etanol proveniente de biomasa. Sin embargo, durante los pasados dos años (2007 y 2006), los precios del petróleo aumentaron de manera continua. No hay duda de que el precio de la gasolina y otros combustibles derivados del petróleo tienen un subsidio pagado por todos los contribuyentes del país y éste no es necesariamente un

hecho en las gasolineras. Este "subsidio" se requiere para compensar las inversiones hechas para mantener un status en las relaciones internacionales. Lógicamente, también pagamos las consecuencias de las medidas tomadas para "compensar": Inestabilidad social y, lamentablemente y en cierto grado, terrorismo.

Por lo tanto, el relativamente alto costo de producción de etanol es el obstáculo principal a ser vencido. Para emprender esto, los procesos de ingeniería juegan un papel central para la generación, diseño, análisis e implementación de tecnologías que mejoren los índices del proceso global, o para retroalimentar los bioprocesos empleados. Indudablemente, la intensificación del uso de procesos a través de la integración de diferentes fenómenos y la operación de las unidades de producción así como la puesta en marcha de bioprocesos para convertir biomasa en etanol, ofrecerá resultados más significativos durante la búsqueda de eficiencia en la producción de etanol. El logro de estos objetivos es un desafío colosal que debe ser afrontado a través de una interacción fructífera entre la biotecnología y la ingeniería química (Chandrakant y Bisaria, 1998).

### 3.3 Biocombustibles gaseosos

Se da este nombre a la mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias. La composición típica del biogás se indica en la Tabla 3.9.

Como puede verse, una alta proporción de la mezcla corresponde al metano (CH<sub>4</sub>), un gas combustible que permite la utilización de este producto con fines energéticos. En este sentido, el biogás puede ser de gran utilidad en el campo ya que por su poder calorífico (4,500 a 6,500 Kcal/m<sup>3</sup>) puede emplearse con cierta ventaja para reemplazar combustibles tradicionales que cumplen la misma función, ya que un metro cúbico de biogás sustituye a 0.61 litros de gasolina, 0.58 litros de keroseno, 0.5 a 1.5 Kg de leña, 0.74 Kg de carbón vegetal o el equivalente a 1.43 KWh de energía eléctrica (IIT, 1992).

La producción de biogás se lleva a cabo mediante el proceso de degradación anaerobia en reactores donde se mezclan la materia orgánica y el inóculo (bacterias).

**Tabla 3.9 Composición típica del Biogás (IIT, 1992)**

Composición química	%
Metano (CH <sub>4</sub> )	50-70
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30-50
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0-3
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0-1
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	0-1
Monóxido de carbono (CO)	0-1.5
Agua (H <sub>2</sub> O)	Trazas

### 3.3.1 Degradación anaerobia

Es un proceso biológico fermentativo que llevan a cabo diferentes especies de bacterias anaerobias, las cuales transforman la materia orgánica en una mezcla de gases y en un lodo rico en nutrientes que puede ser utilizado como composta, siendo la mezcla de metano y bióxido de carbono lo que se conoce como biogás.

La generación de biogás depende en gran parte de la materia prima utilizada siendo los desechos agrícolas y ganaderos, los residuos industriales orgánicos, aguas residuales urbanas e industriales, lodos de depuradora y residuos sólidos municipales, las principales materias primas utilizadas en el proceso de obtención de biogás.

El proceso de obtención de biogás se puede sintetizar de la siguiente manera: Los desechos mezclados con agua se introducen en el biodigestor en condición anaerobia, cuando el biodigestor es de carga diaria, todos los días se carga con cierta cantidad de desechos mezclados con agua, y del biodigestor sale un volumen de sólidos igual al 40% de la mezcla alimentada. Cuando el digestor trabaja por lotes, se carga totalmente y se vacía después de dos o tres meses (Escoto, 2006). La Figura 3.11 ilustra el proceso de obtención de biogás, en donde, los círculos con números son las bacterias que actúan en cada etapa. La Tabla 3.10 muestra las bacterias de cada etapa de la Figura 3.11.

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

1. Temperatura entre los 20°C y 60°C
2. pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de 7
3. Ausencia de oxígeno
4. Alto nivel de humedad
5. Materia prima triturada
6. Equilibrio de carbono/ nitrógeno

La cantidad de biogás que se puede producir es variable, generalmente oscila alrededor de los 35 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas natural con ciertas ventajas, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

- Quemado para calefaccionar el aire, secar, cocinar o calentar agua: El biogás puede quemarse directamente en un calentador de agua. En verano, que es cuando se produce la mayor cantidad de gas, las necesidades de calefacción son mínimas, por lo que una buena parte del combustible puede ser utilizada en otras aplicaciones.



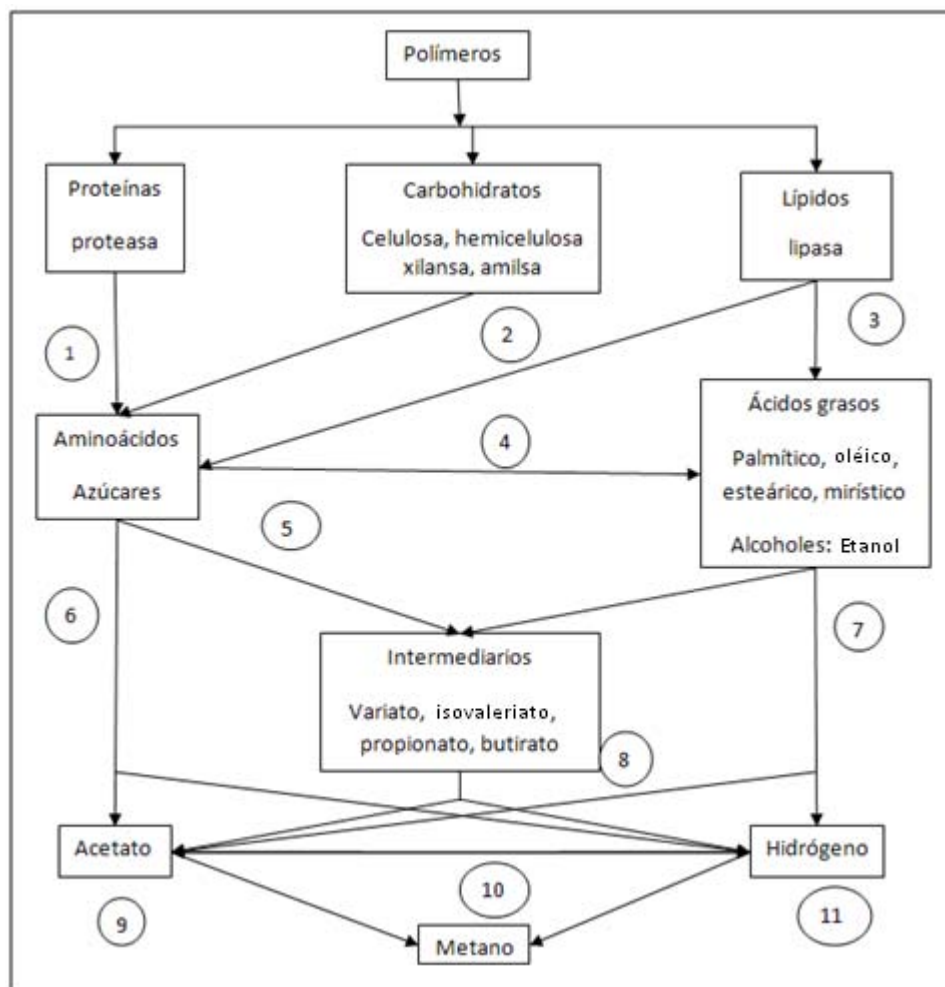


Figura 3.11 Proceso de obtención de biogás (Castro, 2008)

- Usado para operar un motor generador y producir calor y electricidad: El gas puede alimentar un motor que accione un generador de energía eléctrica. Los motores fijos modificados para funcionar con metano se encuentran normalmente en el mercado, y se recupera el calor residual del agua de refrigeración y de los gases de escape, que puede ser más que suficiente para mantener la temperatura del digestor.

Existen dos clasificaciones generales para las plantas de producción de biogás en cuanto a su capacidad: Las instalaciones industriales y las domésticas (Khandelwal y Madhi, 1993). Los digestores domésticos pueden operar de diferentes maneras: Por lote, semicontinuo y continuo. La Figura 3.12 muestra un biodigestor tipo doméstico.

Actualmente se conocen dos diseños tradicionales de biodigestores de pequeña capacidad (hasta 50 m<sup>3</sup>) de producción de biogás, en dependencia de su origen: Hindú y chino. La Figura 3.13 muestra un digestor Hindú y la Figura 3.14 un digestor chino.

**Tabla 3.10 Listado de bacterias que actúan en las diferentes etapas de producción de biogás (Castro, 2008)**

Número de etapa	Bacterias que actúan
1	<i>Clostridium, Proteus vulgaris, Petococcus, Bacteriodes, Bacillus, Vibrio</i>
2	<i>Clostridium, Acetovibrio, Staphylococcus, Bacteriodes</i>
3	<i>Clostridium, Micrococcus, Staphylococcus</i>
4	<i>Zimomonas mobilis</i>
5	<i>Clostridium, Eubacterium limosum, Streptococcus</i>
6	<i>Lactobasillus, Scherichia, Staphylococcus, Micrococcus, Bacillus, Pseudomonas, Desulfobivrio, Selenomonas, Vellonella, Sarcina, Streptococcus, Desulfobacter, Desulfomonas</i>
7	<i>Clostridium, Syntrophomonas wolfei</i>
8	<i>Syntrophomonas wolfei, Syntrophomonas wolinii</i>
9	<i>Methanothrix, Methanosarcina, Methanospirillum</i>
10	<i>Clostridium aceticum</i>
11	<i>Methanobacterium, Methanobrevibacterium, Methanoplanus</i>



**Figura 3.12 Digestor doméstico (Khandelwal y Madhi, 1993)**

La Tabla 3.11 muestra los valores promedio de poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás para tener una referencia de que tan efectivo es el biogás en comparación con los combustibles de mayor uso en el mundo (IIE, 1979).

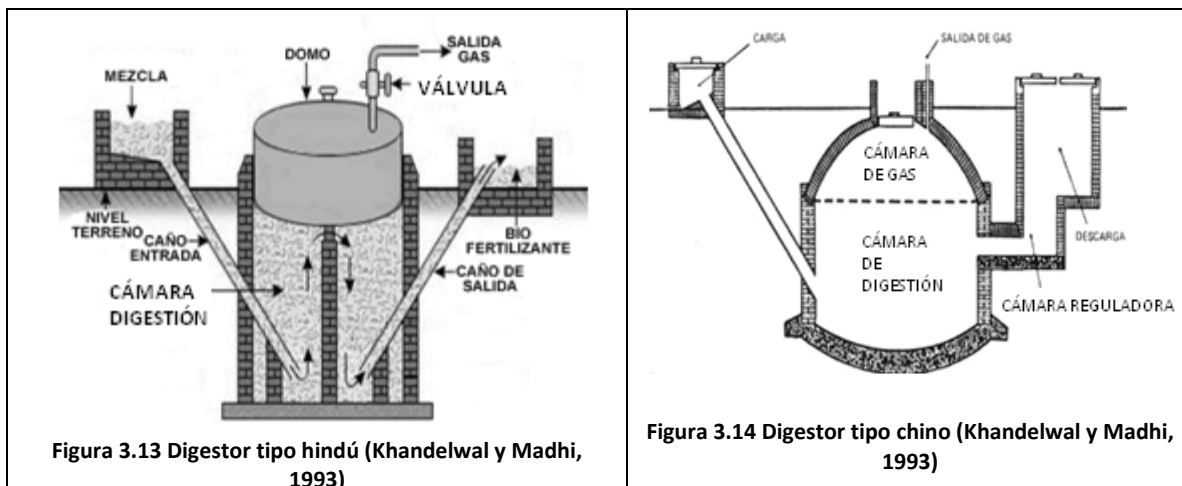


Figura 3.13 Digestor tipo hindú (Khandelwal y Madhi, 1993)

Figura 3.14 Digestor tipo chino (Khandelwal y Madhi, 1993)

Tabla 3.11 Valores promedio de poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás (IIE, 1979)

Combustible	Kcal/m <sup>3</sup>	Kcal/Kg	Equivalente a 1000 m <sup>3</sup> de biogás
<b>Biogás</b>	5335	-	1000 m <sup>3</sup>
<b>Gas natural</b>	9185	-	581 m <sup>3</sup>
<b>Metano</b>	8847	-	603 m <sup>3</sup>
<b>Propano</b>	22052	-	242 m <sup>3</sup>
<b>Butano</b>	28588	-	187 m <sup>3</sup>
<b>Electricidad</b>	860	-	6203 KWh
	Kcal/KWh		
<b>Carbón</b>	-	6870	776 Kg
<b>Petróleo</b>	-	11357	553 Kg
<b>Combustóleo</b>	-	10138	528 Kg

Existen diversos métodos para predecir la producción de metano en un biodigestor, a continuación se mostrará una de las más utilizadas (Castro, 2008).

$$\text{Producción de biogás} = t \times \text{DM} \times \text{OM} \times \text{MBP}$$

Donde:

t = Cantidad de sustrato (ton)

OM = Fracción orgánica de materia seca (%)

DM = Fracción de materia seca en el sustrato (%)

ODM = Partícula orgánica del sustrato = DM x OM

MBP = m<sup>3</sup>/tonODM

### 3.3.2 El estado y el futuro de proyectos de destrucción de metano en México

México tiene una industria de cerdo bien desarrollada con cinco millones de granjas y más de 18 millones de cerdos y 500 mataderos con una producción de 850,000 toneladas de desechos por año que han sido capaces de capitalizarse en los ingresos del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo Kyoto (MDL) (Ecosecurities, 2006). Este mecanismo, que es supervisado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que permite el desarrollo de países del anexo I que han ratificado el protocolo para reducir sus emisiones teniendo equidad en la reducción de emisiones adquisitivas de proyectos en países en vía de desarrollo. Las reducciones de emisión derivadas de estos proyectos son consideradas excedentes, lo que ocurre en una situación de negocios habitual. Este estudio analiza la capacidad de estas granjas de cerdo para ganar satisfactoriamente reducciones de emisión y evitar barreras comunes para implementación del proyecto.

Las granjas de cerdo en México no tenían éxito ya que no presentaban desarrollo porque ninguna tenía los medios para tratar del excremento de cerdo. Algunas granjas simplemente dejaban los desechos flotando directamente en canales. Otras granjas descargan sus desechos en lagunas donde el metano generado del excremento se colecta y se evita al medio ambiente antes de ser descargado a los canales, o deshidratado, o esparcido en cultivos. Estas lagunas eran un modo rudimentario de prevenir la contaminación de agua. Sólo las granjas porcinas con las lagunas que produjeron el metano fueron seleccionados para CER's ya que previenen la liberación de metano presentándose una oportunidad para desarrollar proyectos MDL. Las granjas que no tenían estas lagunas y simplemente liberaban el excremento en el drenaje local no eran elegibles para desarrollar estos proyectos ya que no existe recolección de metano y el excremento es arrojado directamente al drenaje y esto produce que el excremento sea oxigenado (Gavaldon, 2007).

Estos proyectos no sólo son considerados deseables para una perspectiva financiera, sino que también proveen a los agricultores locales una solución contra el olor y problemas de contaminación del agua que habían comenzado a crear relaciones tensas con sus vecinos. Aquellos agricultores que no cuentan con biodigestores tienen que pagar multas por descargar el agua contaminada proveniente de sus digestores, la cual debe ser 90 % libre de materia sólida orgánica (Gavaldon, 2007).

De todos los proyectos MDL en México, el 56 % implica la captura de metano de granjas de cerdo y estos proyectos constituyen el 49 % de las reducciones de emisiones del país que serán generadas hacia el 2012. Estas reducciones de emisiones, conocidas como Reducciones de Emisión Certificadas (CER's), pueden ser usadas para cumplir los objetivos de reducción del Protocolo Kyoto.

México ha sido el más beneficiado con proyectos de captura de biogás que cualquier otro país en la región, con más de 11,000 CER's que su competidor más cercano, Brasil, hacia el 2012 (Fenhann, 2007). México ha disfrutado de tal éxito por varios motivos. México, a diferencia de sus vecinos del sur, tiene granjas de cerdo con una masa crítica de animales que es suficiente para hacer viable un digestor. También, la mayor parte de granjas de cerdo pertenecen a un grupo de granjas que pertenecen al mismo dueño como Granjas Carroll México (GCM) y Socorro Romero Sánchez. Muchas granjas que pertenecen al mismo propietario son más fáciles de manejar para aprovechar la metodología en pequeña escala. Es menos riesgoso manejar varios biodigestores de un mismo dueño porque se simplifica la comunicación con los operadores de la granja. Los

proyectos que emiten menos de 60,000 toneladas de dióxido de carbono destruido cada año se combinan para reducir gastos creando sólo un documento de diseño de proyecto (PDD) y ser evaluados por solo un auditor y un verificador (UNDP, 2006a).

Otras granjas también han disfrutado del éxito en México porque Ag Cert, el autoproclamado "líder mundial en reducciones de emisión obtenidas de actividades agrícolas", ha instalado varios proyectos en el país y han perseguido agresivamente proyectos logrando consolidar 120 que son útiles al país (Cert, 2007). Como algunos agricultores comenzaron a aprovechar la oportunidad de ganar el dinero de sus desechos de cerdo, se ha extendido la práctica, y más agricultores de cerdo se han interesado. Despreciar la importancia del papel de México en el mercado y tener problemas técnicos con la operación de estas granjas pueden poner su futuro en peligro. Futuras oportunidades de captura de metano en el país podrían ser enfocadas a otros tipos de agroindustrias o rellenos sanitarios.

### **3.3.2.1 Funcionamiento del digestor**

Para entender las barreras técnicas que enfrentan los biodigestores en México, primero hay que tener una idea de cómo funciona un digestor. El excremento o la sangre proveniente de un matadero o rastro que se vierten en tuberías por las cuales se envían por gravedad o con ayuda de una bomba a un contenedor de gran tamaño. Aquí los desechos son recolectados y tratados para que se degraden durante aproximadamente 30 días en un contenedor de plástico. Dependiendo de la densidad del excremento, algunas veces muros de plástico son colocados dentro del digestor para reducir el movimiento del excremento para que esto produzca el metano requerido. En México, generalmente los sistemas de alta tasa son usados para atrapar el metano. En estos sistemas, burbujas de metano se forman en la cima del contenedor. En digestores de baja tasa, que son más usados en Brasil, la cubierta plástica toca el excremento y no se forman burbujas en la cima (Castillo, 2007).

Después de que el metano es recolectado, se lleva por tuberías hacia un quemador donde es destruido para producir el bióxido de carbono, un gas efecto invernadero que es 21 veces menos potente si se considera una escala de tiempo de 100 años (EPA, 2006). A veces, se instalan ventiladores que empujan el metano del digestor hacia el quemador para asegurar que no se acumulen grandes cantidades de metano bajo la cubierta plástica. Este sistema aparentemente simple es una tecnología relativamente nueva que ha sido puesta en práctica en varios sitios alrededor del mundo, desde la India hasta los Estados Unidos. Sin embargo, cada digestor es diferente debido a los animales que contribuyen a su contenido y debido a su ubicación; por lo tanto, cada sistema debe ser considerado individualmente para asegurar el funcionamiento apropiado (Ochoa, 2007).

### **3.3.2.2 Requisitos previos**

La ubicación del digestor es quizás el parámetro más importante para que funcione, digestores que son puestos a grandes altitudes o en temperaturas frías tienen momentos difíciles para mantener temperaturas de 25-30 °C. Granjas de cerdo en el estado de Puebla cerca de la ciudad de Perote han tenido la dificultad de mantener una temperatura constante. Para remediar este problema, los operadores de granjas de GCM en Perote piensan calentar el contenido del biodigestor con el calor proveniente de una microturbina que funcionaría quemando el metano del digestor (Landa, 2007). También, de si se localiza en un sitio con lluvia frecuente, la temperatura en el digestor es demasiada fría, desinflando la burbuja de metano y bajando la

temperatura del excremento. En México, las granjas de cerdo en el estado de Veracruz a menudo tienen inundaciones debidas a las frecuentes tormentas durante la estación lluviosa.

Si el proyecto no tiene ningún supervisor de tiempo completo y se confía en visitas semanales de un ingeniero que vive lejos, entonces hay veces que se presenta el problema de que una bomba no puede mover el agua del fondo a la superficie del digestor. Incluso si el agricultor local tiene una bomba, él no coopera siempre y no la usa de manera oportuna (Gavaldon, 2007).

La dieta de los cerdos puede causar fluctuaciones en el pH, éste tiene que permanecer cerca de 7. La adición de ingredientes al excremento para hacerlo más ácido o alcalino puede causar grandes oscilaciones de pH para compensar el problema. Sin embargo, GCM ha encontrado que su excremento es demasiado alcalino alcanzando un promedio de 7.9. Ellos piensan añadir los tanques parachoques que neutralizarán el excremento antes de que esto entre en el depósito principal (Landa, 2007).

Si los animales sufren una enfermedad y se prescriben antibióticos o se les dan vacunas, la medicina puede dañar las bacterias en el digestor. Una buena relación con el veterinario de la granja ayuda a prevenir la sobre prescripción de antibióticos y rotar el empleo de medicina sobre un grupo de animales ayuda a disminuir el impacto en el digestor. De la misma manera, sustancias químicas no biodegradables usadas para limpiar los establos también puede limitar la productividad del digestor matando los microorganismos anaerobios que descomponen el excremento (Razo, 2007). Las granjas de cerdo de Toledo en Guatemala encontraron que usar demasiada agua para limpiar establos diluía los desechos. Ellos reducen el empleo de agua a 20 litros por libra de excremento a 5 litros por libra barriendo a mano los desechos hacia los drenajes en vez de barrerlos con agua, con estas medidas resolvieron el problema de eficiencia del digestor (De la Parra, 2007).

La parte esencial del sistema para obtener bonos de carbono es la combustión real de metano mediante un quemador después de que ha sido capturado. A menudo el piloto del quemador de metano se apaga por el viento o por la lluvia. Muchos quemadores se han comenzado a instalar con un piloto de encendido solar de reserva (Landa, 2007). Sin embargo, en cuatro de diez digestores que se visitaron no se habían aislado correctamente los cables del piloto solar, debido a esto los cables se quemaron.

Si el metano no se quema correctamente, significa que hay un problema con el contenido de gas. A menudo una llama de color naranja indica demasiado bióxido de carbono en el digestor. Se mezcla cal para reducir el contenido de CO<sub>2</sub>. Si hay demasiado sulfuro de hidrógeno en el gas, esto puede dañar el quemador con el tiempo por la corrosión. Para reducir la cantidad de sulfuro de hidrógeno en el gas, a veces el biogás pasa por un tubo con un pedazo de hierro que atrae el gas dañino. El agua también es condensada para separarla del gas con otro filtro (Gavaldon, 2007).

### **3.3.2.3 Interrupciones de comunicación**

La comunicación entre el encargado de la granja y el ingeniero es un componente importante para el éxito de proyectos con digestores. Si el agricultor o el encargado de la granja no pueden pasar mensajes directamente al ingeniero, los componentes críticos del sistema como ventiladores, bombas y tuberías no se reparan de manera oportuna. A menudo las partes para los sistemas tienen que ser traídas desde la capital o pedidas al extranjero. El modelo de Ag Cert confía a un ingeniero localizado a distancia para atender una región de granjas pero resulta ser problemático, ya que el ingeniero de la empresa no puede recibir llamadas a su teléfono celular a

menos que provengan de las oficinas de Ag Cert. Los agricultores que dejan mensajes en la oficina no siempre llegan al ingeniero (Gavaldon, 2007). Ponerse en contacto con una persona que desarrolla el proyecto y que se localiza en el extranjero es aún más complicado si la empresa no tiene otros proyectos ni personal en el país sede. GCM tuvo la experiencia de pagar al Grupo UEM Berhad Company, ubicado en Kuala Lumpur, para desarrollar un proyecto que usó tecnología sofisticada para reproducir un diseño usado en granjas de vacas lecheras en granjas porcinas. Los tubos usados tenían diámetros más grandes que el necesario y que funcionan mejor para vacas en vez de cerdos. Los dispositivos mecánicos usados para sujetar la cubierta plástica eran susceptibles de rasgarse. El quemador usado para el sistema trabajó solo 24 horas antes de que los cables del quemador sufrieran averías y se vieran amenazadas las líneas de conducción eléctrica que fueron ubicadas muy cerca del quemador. El hecho de que UEM se ubicara en el extranjero tenían el problema de no contar con un ingeniero que pudiera supervisar el proyecto y ofrecer ayuda técnica (Landa, 2007). Como consecuencia de esta experiencia, GCM optó por contratar a Geosistemas que estaba asentado en la zona y resultó ser más económico para terminar el desarrollo del digestor (Velario, 2007).

Algunas veces las fallas de comunicación entre el agricultor y el consultor repercuten en las negociaciones con el MDL. El director general de granjas de cerdo de Socorro Romero Sánchez, que tiene 29 proyectos con Ag Cert, tiene la impresión de que después de los 10 primeros años del contrato, la empresa obtendrá los bonos de carbono (Tlapanco, 2007).

#### **3.3.2.4 Cambio de metodología**

Un cambio de la metodología de CMNUCC para la destrucción de metano ha cambiado la economía de proyectos de captura de metano considerablemente. Antes de noviembre de 2006, la metodología del CMNUCC permitió a los diseñadores asumir que el 100 % del metano fuera destruido por sus quemadores. Sin embargo, la nueva CMNUCC concluyó que la metodología logra una cantidad máxima de metano destruido del 50% de estos quemadores abiertos. Para demostrar que más del 50 % del metano es destruido, los propietarios de granja tienen que tener un quemador cerrado con una medida de temperaturas. La temperatura del gas determina la eficiencia del quemador y la cantidad de gas que se destruyó (UNFCCC, 2006).

La medida de temperaturas cuesta aproximadamente 1,200 dólares, pero el costo de los quemadores varía más. Los quemadores abiertos cuestan entre \$27,000 a \$150,000 dólares mientras los quemadores cerrados varían entre \$105,000 dólares y \$195,000 dólares. La escala de precios refleja la capacidad de los quemadores, y en general, un quemador cerrado cuesta entre 1.5 a 2 veces más que un abierto (Caine, 2000). Una empresa mexicana llamada Geosistemas ha creado un quemador cerrado más económico que es comparable con el precio del quemador abierto. Sin embargo, este quemador no está aún disponible para la compra (Velario, 2007).

Los proyectos que comenzaron bajo la suposición de que podrían comprar y usar quemadores abiertos, pero no registraron el proyecto antes del cambio de la metodología, han tenido que incorporar el costo de los quemadores cerrados y en algunos casos han tenido que devolver los quemadores abiertos ya comprados. El temor de que la metodología pueda cambiar otra vez provoca que proyectos en proceso tiendan a terminar de manera apresurada y desalienta el desarrollo de nuevos proyectos. Empresas como Ecorescurities hizo negociaciones de MDL por GCM y tuvo que cambiar 29 proyectos después de que la metodología fue revisada (Pereyra, 2007).

### 3.3.2.5 Generación eléctrica

Las granjas de GCM esperan generar electricidad a partir del metano y diseñar proyectos que generen bonos de carbono para disminuir el empleo intensivo de combustibles fósiles usados por la red eléctrica mexicana. Mientras que emplear metano para producir electricidad es una tecnología probada, varias preocupaciones sobre la operación de estos proyectos sugieren que los primeros años de generación eléctrica pudieran ser un período de prueba y error. Demasiado sulfuro de hidrógeno no sólo daña los quemadores, sino también puede causar un mal funcionamiento de un generador o la microturbina. Dudas sobre la cantidad de gas que será producido y la selección adecuada de equipo hace difícil precisar el tamaño del sistema a usar (Landa, 2007).

Ag Cert ha decidido no incorporar la generación de electricidad a sus proyectos debido a los altos costos de inversión del generador y la incertidumbre sobre cómo usar algún gas en el generador y luego mandarlo al quemador. Los generadores que usarán las granjas no son lo bastante grandes para utilizar todo el biogás producido en la mayor parte de los digestores de Ag Cert. A pesar de estas dudas sobre la generación de electricidad, los agricultores en muchas de las granjas de Ag Cert piensan comprar generadores ellos mismos para aprovechar el metano y eliminar de sus cuentas el pago de electricidad (Pérez, 2007).

El excedente de electricidad que no se usa por la granja, teóricamente se puede vender a la red eléctrica nacional como lo proponen las granjas de cerdo de Empacador Toledo en Guatemala asesoradas por Ecoinvest. Sin embargo, la estructura del mercado mexicano complica la venta del exceso de electricidad. Los generadores pueden vender directamente a Comisión Federal de Electricidad (CFE), y llegar a ganar el 85 % de su costo. También, los generadores pueden usarse para ser "un autoproveedor", estructurar un acuerdo de compra con un cliente que es accionista del generador, y venderle la electricidad. Conforme a ambos esquemas, el generador debe pagar altas tarifas de transmisión. También, el propietario del proyecto es responsable de establecer líneas de electricidad del punto de generación a la carga (SENER, 1992). Hasta ahora, ninguna de las granjas de cerdo ha decidido invertir dinero en un generador que produzca más electricidad y alimentarla a la red con la esperanza de ganar dinero con el excedente de generación. Por lo tanto, la generación de electricidad sólo sirve para las necesidades del agricultor y ganar bonos de carbono iguales a las emisiones que habrían sido quemadas si la granja fuera servida por la red de energía nacional.

### 3.3.2.6 Barreras reguladoras

Próximas regulaciones harán más difícil de demostrar la adicionalidad para proyectos de biodigestores en México. La adicionalidad es un requisito previo para los proyectos de MDL que intenta asegurar que todos los proyectos que reciben el crédito no lo usen de manera distinta a la prevista. Los grandes proyectos deben mostrar adicionalidad en todas estas categorías (UNDP, 2006b).

Antes de los proyectos de captura de metano del MDL, los agricultores pagaban multas por no eliminar el 90 % de los desechos sólidos del agua que ellos emitían como resultado de su tratamiento de aguas negras y calificar como aceptables según los estándares de 1996 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 1996). Los digestores mejoran la calidad del agua, evitando el pago de multas, que para algunas granjas ascendieron a 1000 dólares



por año. El digestor también evita la compra de equipo caro como separadores sólidos para mejorar la calidad del agua residual (Pérez, 2007).

Las granjas porcinas a menudo tienen problemas con los vecinos no sólo debido a la mala calidad del agua emitida por sus operaciones, sino también debido al mal olor de las granjas. No hay ninguna multa contra el olor, pero evitar estos problemas debe verse en el futuro como una medida para mantener relaciones cordiales con aquellos que rodean el proyecto.

Una nueva regulación confiere por mandato, que las granjas de cerdo que sean nuevas instalen biodigestores. Esta ley podría limitar el futuro desarrollo de aquellas granjas que no tienen digestores y usan lagunas para tratar los desechos (Ochoa, 2007).

Un incentivo hacia los agricultores para comprar generadores y usar el metano producido de los excrementos de sus cerdos para producir la electricidad existe en el estado de Puebla. Este incentivo supuestamente paga la mitad del costo del primer generador, pero hay duda en cuanto a si habrá bastante dinero en el presupuesto para cubrir a todos los agricultores que se interesen en este incentivo. Los agricultores de Socorro Sánchez han comenzado a aprovechar esta ley (Pérez, 2007).

### **3.3.2.7 El futuro del desarrollo de proyectos de captura de metano**

Las granjas porcinas fueron las primeras en utilizar biodigestores en México, pero las oportunidades para la captura de metano existen dentro de varias industrias. Ag Cert actualmente hace pruebas sobre mataderos para ver si la sangre que se colecta en lagunas artificiales antes de la descarga en el desagüe pueda producir cantidades significativas de metano (Gavaldon, 2007). El banco japonés Sumitomo posee tres plantas de tratamiento de aguas negras en México y examina la posibilidad de captura de metano (Ueda, 2007). La captura de metano proveniente del tratamiento de aceite de palma también comienza a ser una industria grande en Centroamérica y Colombia. Fedepalma de Colombia tiene 32 productores de palma que se han agrupado para aprovechar ingresos del MDL por la captura de metano (Mantilla, 2007). En México, dos proyectos de rellenos sanitarios han recibido el registro, dos más están en el proceso, y cuatro adicionales están en las etapas de planeación. Todos estos rellenos sanitarios piensan tener una generación eléctrica de 1 a 7 MW (UNFCCC, 2006). El futuro del potencial de rellenos sanitarios en México para la captura de metano es inmenso, pero está lleno de desafíos, en México se generan 100 mil toneladas de basura al año.

Los proyectos de captura de metano de rellenos sanitarios tienen que ser puestos en marcha rápidamente; ya que en los desechos sólidos municipales superficiales disminuyen las cantidades de gas con el tiempo. Un estudio realizado para un proyecto de captura de gas de relleno sanitario en la Ciudad de México en coordinación con todos los municipios colectores de basura, se ha retrasado debido a que no se pueden establecer las cantidades de metano que pueden ser extraídas (Márquez, 2007). Por lo tanto, estos proyectos son los más económicos para ponerse en marcha, mientras la basura se acumula o poco tiempo después de eso. También, la tubería puede ser instalada horizontalmente y verticalmente para capturar la cantidad máxima de metano si el proyecto comienza mientras el relleno sanitario está todavía en operación. La captura de metano es mayor cuando el sitio es un relleno sanitario designado y no un vertedero (Zamora, 2007). Cuando el relleno sanitario es construido con un diseño de peldaño que está basada en cómo se vierte la basura, es más fácil para los ingenieros saber donde se encuentra la mayor cantidad de gas basada en la edad de la basura (Uribe, 2007).

La experiencia de proyectos de rellenos sanitarios en la región indica algunos desafíos. Río Azul es un vertedero en San José que fue retroalimentado en 2003 para la captura de gas y la generación eléctrica. Un cierre técnico de la planta que coincidió con este proyecto condujo al cierre de 40 % de los pozos de rellenos sanitarios taladrados para la extracción de metano, debido a la falta de comunicación entre varias entidades que poseen la planta. Los tubos que solían transportar el metano del campo al sitio de generación, ahora con frecuencia son robados desde que hay menos actividad y menos protección sobre el sitio. Todos estos factores han conducido a la planta a producir un cuarto de las reducciones de emisiones esperadas de gas (Zamora, 2007).

Otro aspecto problemático de estos proyectos en México es la pregunta de regular la adicionalidad. La regulación 083 proporciona la dirección para la colección, la utilización, y quema de gas de rellenos sanitarios. Considerando la existencia de esta regulación, cualquier proyecto de captura de gas de rellenos sanitarios en el país no sería adicional. Sin embargo, esta regulación sistemáticamente no es seguida porque esto es parte de una ley Federal y los municipios manejan la basura local.

Problemas sociales también pueden complicar estos proyectos como las personas que viven en los vertederos y juntan materiales para vender o reciclar, ya que protestan contra estos proyectos pues se llevarían sus sustentos.

#### **3.3.2.8 Conclusiones**

Considerando el impacto cuestionable de una futura regulación, dificultades técnicas y barreras de comunicación, el futuro de captura de metano para granjas de cerdo en México es incierto. La presencia de granjas de cerdo con un solo propietario ha contribuido al éxito de estos proyectos hasta ahora, pero la cartera de proyectos en México puede ser diversificada considerablemente para incluir otros tipos de proyectos de MDL. El período de prueba y error de los digestores puede ser menos generoso que el esperado y empujar el desarrollo en las nuevas áreas de industria como mataderos, granjas de ganado lechero, granjas de café, plantaciones de aceite de palma y rellenos sanitarios. Sin embargo, la experiencia de proyectos de captura de gas de rellenos sanitarios en todas partes sugiere que estos proyectos son diferentes para funcionar como las granjas porcinas para la captura de gas al presentar problemas técnicos, de regulación y sociales.

#### **3.4 Una prospectiva y escenarios propuestos del uso de bioenergía en México**

¿Por qué se debería desarrollar la bioenergía en un país que posee petróleo? El empleo de biomasa como fuente primaria de energía ha disminuido en México desde 1965, cuando ésta constituyó el 15.3 % del suministro de energía primaria. En el 2005, esta energía representó sólo el 5.3 %. Mientras tanto, el empleo de hidrocarburos ha aumentado regularmente y representa el 87.7 % del suministro total de energía primaria (SENER, 2005).

Estos son algunos motivos para aumentar el uso de bioenergía en México. Por un lado, la confianza creciente sobre el uso de combustibles fósiles es problemática. En 2007, las reservas nacionales probadas de hidrocarburos son suficientes para soportar la producción anual de petróleo y la producción de gas durante 9.6 y 8.9 años, respectivamente (SENER, 2006). El índice del crecimiento promedio anual de energía en México que produce emisiones de CO<sub>2</sub> es de 4.3 %, uno de los más altos en el mundo (OECD, 2006).

Por otro lado, la bioenergía tiene el potencial para convertirse en una pieza fundamental en un sistema de energía sostenible, contribuyendo no sólo a la estrategia de diversificación de energía del país, sino también a la apropiación de tecnologías emergentes. Esto puede contribuir a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, a la generación de nuevos empleos en áreas rurales y a mejorar la distribución de ingresos. Además, se podría disminuir la importación de combustibles, principalmente la gasolina y el diesel, lo cual es importante por motivos de seguridad nacional y económica. El rango del potencial de la bioenergía a nivel mundial en un futuro se extiende de 94,000 (WEC, 1994) a 325,000 PJ/año (UNDP, 2000). Este último valor representa el 78 % del consumo de energía primaria total consumida en el mundo en el 2004 (Aitken, 2005). Desde el 2004, la bioenergía representa el 11 % del consumo total a nivel mundial de energía primaria (Aitken, 2005). Ghilardi y col., (2005) sugieren que 3,035 PJ/año es un valor promedio del potencial de la bioenergía en México mientras que 4,550 PJ/año sería una estimación muy grande. Estas cifras representan el 46 % y el 68 % del suministro de energía primaria en México en el año 2005, respectivamente.

Un primer e importante paso para solucionar este problema de diversificación de energía fue dado por el Congreso Mexicano en abril de 2007 con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Esta ley fue aprobada por el Congreso y esperan que sea publicada y promulgada en ese mismo año (CGEUM, 2008). Esto proporcionará un marco legal para promover el empleo de biocombustibles a nivel nacional. Actualmente hay otra iniciativa de ley que tiene un uso más amplio, la ley para la Promoción y el Empleo de Fuentes de Energía Renovables, que fue aprobada por la Cámara de Diputados en diciembre de 2005. Sin embargo, esta iniciativa ha estado en debate en la Cámara de Senadores desde entonces y que fue ratificada a finales del 2008. Esta ley establecería un marco legal para promover el empleo masivo de fuentes de energía renovables, en particular en el sector eléctrico mexicano (CGEUM, 2008).

El ejemplo de Brasil destaca cómo una de las iniciativas internacionales más importantes para el empleo de bioenergía. El programa Proalcohol de Brasil comenzó en 1975. Durante 14 años, 5000 millones de dólares han sido invertidos en la bioenergía. 25 años más tarde, han reducido gastos por importación de gasolina en 43,000 millones de dólares y 700,000 nuevos empleos han sido creados (Goldemberg y Moreira, 1999). El consumo de etanol en el sector transporte brasileño representa el 47 % del consumo de gasolina. En los Estados Unidos, la bioenergía se hizo la fuente principal de energía renovable y ligeramente sobrepasó a la producción hidroeléctrica. Esto también contribuyó a que el 48 % de la energía utilizada fuera renovable y a que fuera el 4 % de la energía total producida en el 2004. El Programa de Biomasa del Departamento de Energía de Estados Unidos, lanzado en el año 2000, predijo que el papel de bioenergía tarde o temprano representaría el 5.75 % de los combustibles utilizados para el transporte hacia el 2010 y equivaldría al 30 % del consumo de petróleo hacia el 2030 (EERE, 2005). Recientemente, el "programa 20 en 10", lanzado en enero de 2007 en Estados Unidos, propuso que el 15 % de la demanda de combustible de transporte estuviera cubierto por biocombustibles en 2017.

Otros países han considerado seriamente el empleo masivo de bioenergía en el futuro. Por ejemplo, China (Zhengming, 1999), Alemania (Öko, 2004), Austria (Wörgettera, 2006) y Suecia (Leppiman, 2005) se han puesto el objetivo de que 10-15 % de su suministro de energía interna hasta el año 2020 sea a base de biocombustibles. Un caso especial es Vietnam donde la contribución de bioenergía es bastante alta, con el 37.8 % del consumo de energía total (Kumar y Bhattacharya, 2003).

En un estudio hecho por Kumar (Kumar y Bhattacharya, 2003), el potencial de mitigación de gas efecto invernadero de tecnologías de bioenergía fue calculado para Vietnam. En aquel estudio, los índices de penetración de tecnologías de energía proveniente de biomasa resultaron ser buenos, la sustitución de estufas tradicionales por estufas eficientes de biomasa y de biogás han tenido un crecimiento en el índice de aceptación del 20% anual.

En este trabajo de investigación, tres escenarios diferentes fueron creados para la generación de electricidad, el transporte y sectores residenciales hasta el año 2030. Las hipótesis de tales escenarios están basadas en el comportamiento de variables macroeconómicas así como hipótesis específicas en cuanto a la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles. Suposiciones particulares son aplicadas para cada escenario y para cada sector de consumo de energía para simular el crecimiento anual de empleo de biocombustibles. En el caso del sector residencial, esta suposición es relacionada con el empleo creciente de estufas de leña eficientes y estufas de biogás. Además, un perfil de consumo de bioenergía ha sido obtenido para todos los sectores considerados en cada escenario. Finalmente, la cantidad correspondiente de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas es calculada usando los factores de emisiones del IPCC.

#### **3.4.1 Modelo para el sistema de planificación de alternativas energéticas de largo alcance (SPAELA)**

Este estudio fue hecho con la versión de 1995 del SPAELA. Este modelo, desarrollado por el Instituto de Ambiente de Estocolmo en Boston (la IAE-B), es un marco que sirve como instrumento de pronóstico y como una base de datos. También permite la evaluación de las emisiones ambientales correspondientes a las diferentes políticas de energía y de tecnologías usadas en el consumo y el suministro de energía (p. ej. el uso eficiente de energía, la sustitución de combustible y/o cambios de estructura) (Lazarus, 1995).

La Figura 3.15 muestra los cuatro módulos que integran el SPAELA: Escenarios energéticos, una interface llamada Bases de Datos Ambientales (BDA), el módulo de agregación y el de las cadenas de combustibles. El módulo de escenarios energéticos contiene los siguientes programas: Demanda, transformación, biomasa, medio ambiente y evaluación. La interfaz BDA contiene la información relacionada con la energía ambiental que puede ser utilizada para calcular escenarios alternativos de energía. El módulo de agregación junta las áreas de contabilidad de la energía y de proyecciones. El módulo de cadenas de combustible permite la comparación de los impactos ambientales de un combustible en específico y las opciones de tecnología disponibles.

La demanda de energía es calculada con el análisis de un programa de demanda y basado en los datos de cuanta energía es consumida por los sectores de interés que es dada a conocer por el Balance Nacional de Energía (SENER, 1997). El programa de transformación simula la infraestructura de generación y distribución de electricidad, refinerías y plantas de gas, incluyendo datos sobre el gas natural, petróleo y la producción de coque. Una vez que las exigencias de energía son calculadas con el programa de análisis de demanda, entonces se comparan con los resultados obtenidos por el programa de transformación.

Debido al hecho de que los factores de emisión de CO<sub>2</sub> dependen del contenido de carbono del combustible y que éste puede variar de país en país, los factores de emisión de CO<sub>2</sub> usados en este estudio son aquellos que provienen de la interface BDA. El programa ambiental usa la BDA para calcular los impactos ambientales asociados a los escenarios alternativos. Las fuentes de emisión que representan valores medios compilados por el IPCC. La Tabla 3.12 muestra las

fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> usados en este estudio (Lazarus, 1995). El programa de biomasa incorpora datos sobre el uso de la tierra para la evaluación de suministro de biomasa. El programa de evaluación es usado para comparar los escenarios alternativos.

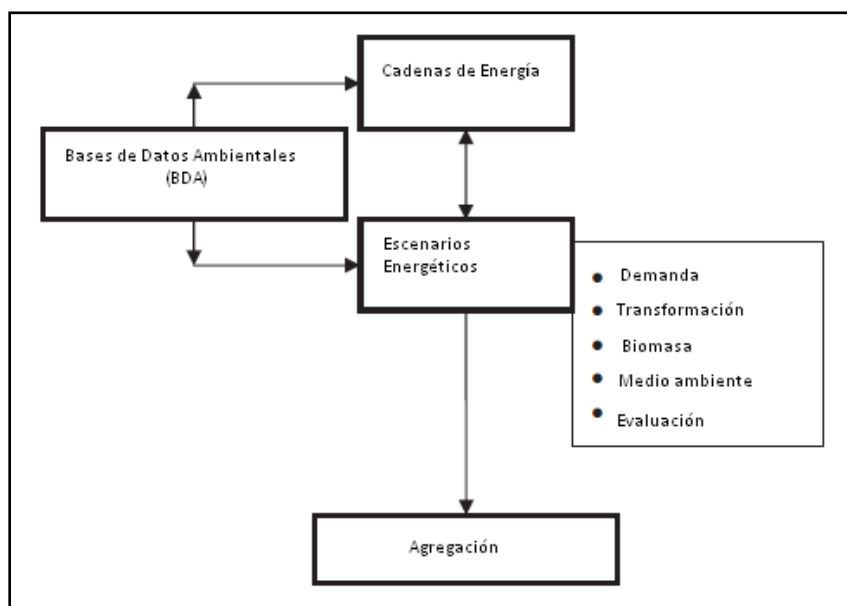


Figura 3.15 Estructura del SPAELA (Islas y col., 2006)

Tabla 3.12 Factores de emisión de CO<sub>2</sub> según la base de datos del SPAELA (Lazarus, 1995)

Fuente de emisión de CO <sub>2</sub>	Kg/GJ
Carbón	14.5
Petróleo	73.7
Diesel	72.9
Gas natural	52.2
Gasolina	52.5
Gas LP	64.6
Queroseno	71.3

Cabe mencionar que en este estudio, el nivel de agregación de cada sector es asignado por los tipos de combustible y según nuestras hipótesis tienen el mismo Índice de Crecimiento Promedio Anual (IPCA) que el Producto Interno Bruto (PIB), excepto la leña que crece dependiendo de la población.

El SPAELA ha sido usado de manera extensa como un modelo para simular sistemas de energía a nivel nacional. Las cifras de suministro de energía, demanda y estudios de mitigación de gas efecto invernadero están disponibles para México (Manzini e Islas, 2000), China (Guo y Wang,

2003) gracias al Programa de Estudios de los Estados Unidos (Sathaye y Dixon, 1997). El SPAELA también ha sido usado para el análisis de los sectores de: Generación eléctrica (Manzini e Islas, 2000), transporte (Pradhan y Bahadur, 2006) y residencial (Davoudpour, 2006).

Otros estudios sobre distintos escenarios de bioenergía han sido reportados por Vietnam (Kumar y Bhattacharya, 2003) y Corea (Shin y Park, 2005).

### **3.4.2 Construcción de escenarios para el modelo SPAELA**

Tres escenarios se construyeron para México: Un escenario base y dos escenarios alternativos. Todos los escenarios se basan en los estudios hechos por Islas y Manzini (2004).

#### **3.4.2.1 Escenario Base**

En este escenario, los combustibles derivados del petróleo y el gas natural son las opciones más usadas. Así, en el sector energético, toda la capacidad está basada en plantas de ciclo combinado que se usan a gas natural (CCGN). En el sector residencial, el gas LP es el combustible más usado en las áreas urbanas, mientras que la leña lo es en las áreas rurales. Con respecto al sector de transporte, la gasolina y el diesel son los combustibles más usados.

Debido a la carencia de datos recientes, 1996 fue seleccionado como el año de referencia. El balance de energía de 1996 de México es reproducido por los programas de demanda y transformación del SPAELA. Así, la futura demanda de energía puede ser calculada para los sectores: Residencial, comercial, servicios, agrícola, industrial, transporte y autoconsumo. Después de esto, se asumen las siguientes suposiciones:

1. Crecimiento constante del Producto Interno Bruto (PIB), es decir un IPCA del 4 %
2. Crecimiento demográfico contante, lo cual genera un IPCA del 1.21 % y se espera que haya 138 millones de habitantes hacia el 2030 (CONAPO, 2006).
3. Demanda constante
4. La demanda de energía y electricidad crecen 4 % por año –al igual que el IPCA y el PIB (INEGI, 2006)
5. La capacidad instalada aumenta en 5 % hasta el 2007 (SENER, 2003)
6. Después del 2007, la capacidad instalada crece 3.4 % por año
7. El tres por ciento de las nuevas exigencias de electricidad es dedicado para satisfacer los picos de demanda que son generados motores de combustión interna impulsados por diesel y gas natural (Islas y Manzini, 2004)

Un PIB del 4% en México calculado considerando su comportamiento histórico: El PIB creció en tasa promedio anual del 6 % entre 1965 y 1979, pero cayó a 1.4 % durante década de los 80's. Después, en la década de los 90's, creció en un 3.4 % y luego alcanzó el 7 % en el año 2000. Así, el valor del 4 % escogido para este estudio como un promedio histórico del PIB de México entre 1965 y 2000, como se muestra en la Figura 3.16 (INEGI, 2006).

Del mismo modo, la demanda de electricidad en México es calculada según su comportamiento histórico: La demanda de electricidad creció con un IPCA del 7.7 % entre 1966 y 1989, pero cayó a 5.1 % en los años 90's. A partir de 1980 y hasta el año 2000, el índice de crecimiento de demanda de electricidad siempre era mayor que el PIB. Sin embargo, y debido a mejoras en la eficiencia del uso de energía debido a nuevas tecnologías y a programas de ahorro de energía esta diferencia ha ido disminuyendo. De ahí, es asumido que esta tendencia será de

cero hacia el 2012 y estará 0.8 % debajo del PBI hacia el año 2030, como se muestra en la Figura 3.17.

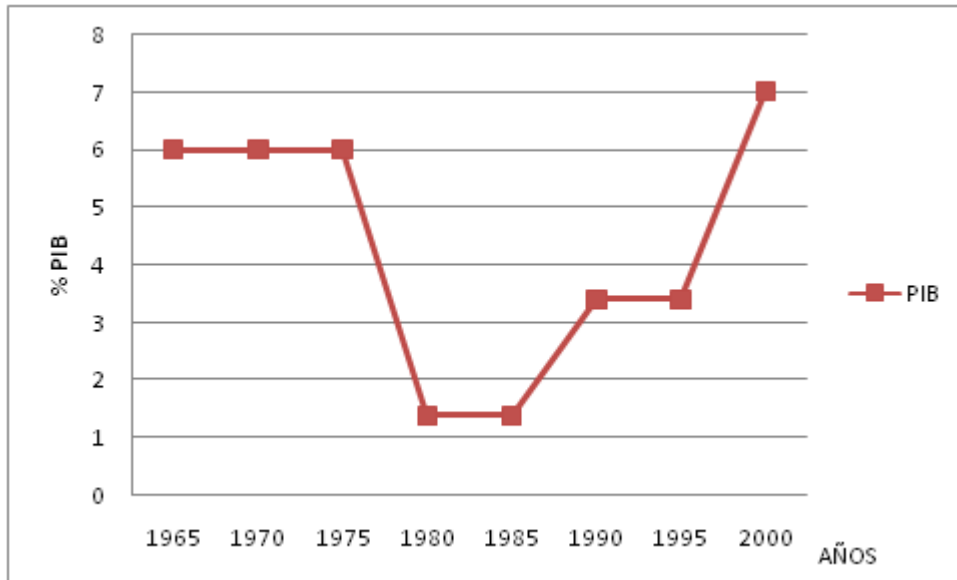


Figura 3.16 Crecimiento del PIB en el periodo 1965-2000 (Modificada de INEGI, 2006)



Figura 3.17 Comparación del crecimiento del PIB y la demanda eléctrica entre 1965 y 2030 (Modificada de INEGI, 2006)

La demanda de electricidad tendrá un IPCA del 4 % entre 1996 y 2030, idéntico asumido por el PIB. Según este comportamiento histórico, la capacidad instalada creció 0.6 % por debajo de la demanda según el IPCA de 1965 hasta el 2000. Por lo tanto, se asume que esta capacidad crecerá con un IPCA del 3.4 % después del año 2007. La Tabla 3.13 muestra los valores de datos de entrada para todas las variables macroeconómicas en 1996 y sus índices de crecimiento anual correspondientes a partir de entonces.

**Tabla 3.13 Valores de las variables macroeconómicas en 1996 (Islas y col., 2006)**

Variable	Unidades	Valor en 1996	IPCA
Población	1x10 <sup>6</sup> habitantes	92.040	1.21%
PIB	Billones de dólares	332.5	4%
Capacidad instalada	MW	34695	5%

### 3.4.2.2 Escenarios alternativos para la bioenergía

Como ya se ha mencionado, el potencial de bioenergía en México se extiende de 3,035 a 4550 PJ/año (Ghilardi y col., 2005). Este potencial es equivalente al 68 % y al 46 % de la energía primaria suministrada en México en el 2005 (6,649 PJ), respectivamente (SENER, 2002). La Tabla 3.14 muestra este potencial clasificado por el tipo de fuentes de bioenergía. La leña contribuye con el 67 % de este potencial de bioenergía, combustibles derivados de los desechos agrícolas con el 32 % y desechos sólidos municipales con el 1 %. Desde el año 2005, el empleo de bioenergía en México ascendió a 350 PJ y contribuyó con el 12 % y el 8 % del potencial estimado, respectivamente.

**Tabla 3.14 El potencial de los recursos usados para la bioenergía en México en 2004 (Ghilardi y col., 2005)**

Fuentes de bioenergía	Potencial energético (PJ/año)
<i>Leña</i>	
De bosques naturales	997-1716
De plantaciones forestales	450-1246
Residuos de aserraderos	71
<i>Combustibles de granja</i>	
Residuos de cosechas	863
Residuos agroindustriales	202
Residuos de ganado	148
Cultivos energéticos	269
<i>Aguas residuales municipales</i>	35
<b>Total</b>	<b>3035-4550</b>

En los dos escenarios alternativos, la sustitución de combustibles fósiles por combustibles a partir de biomasa es analizada en todos los sectores económicos. Los escenarios de penetración moderados y altos de bioenergía se pueden simular. La Tabla 3.15 muestra los biocombustibles y



tecnologías de energía que pueden sustituir opciones basadas en combustible fósil para la generación de electricidad (incluyendo la cogeneración), las estufas tradicionales en el sector residencial, el diesel y la gasolina en el sector de transporte.

La Figura 3.18 muestra una estructura de árbol sobre la demanda de energía para todos los sectores analizados en los escenarios alternativos.

La fase emergente termina cuando las opciones de tecnología para energía a partir de biocombustibles que se seleccionaron cubren del 6.5 % al 9.5 % de los combustibles substituidos en el escenario base.

Más tarde, una fase de madurez comienza con índices de crecimiento inferiores a los esperados, por lo general del 18 % al 22 %. Esta fase se caracteriza por la consolidación de la tecnología en el mercado. Por ejemplo, la fase de madurez para la opción de biodiesel los gasificadores de ciclo combinado de biomasa no alcanzan su fase de madurez antes del 2030.

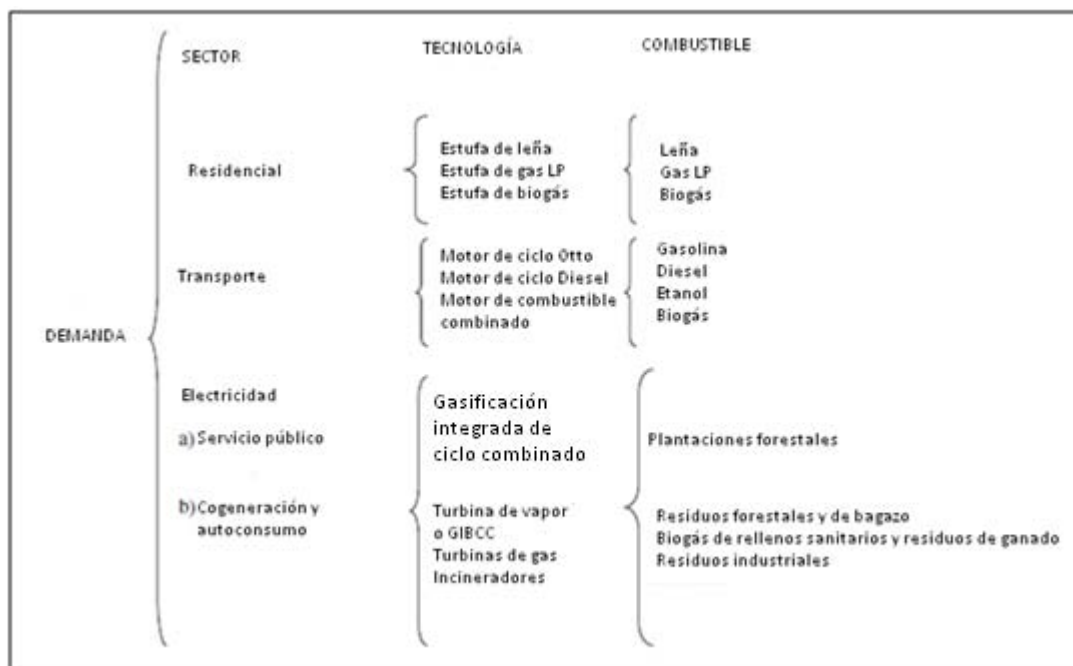


Figura 3.18 Árbol de demanda de energía usado por el SPAELA para simular escenarios alternativos (Islas y col., 2006)

Finalmente, la fase de saturación inicia cuando la penetración de mercado comienza y a esta fase se le llama "potencial pleno de mercado" (Geller, 1994). En este estudio, se asume que ninguna de las tecnologías seleccionadas alcanza esta fase. Durante la fase emergente, el alto índice de IPCA antes mencionado proviene de las experiencias exitosas de los países que implementaron nuevas fuentes de energía renovable. Por ejemplo, Alemania tenía un IPCA del 40 % por sistemas de generación eólica desde 1994 hasta 2004 (IEA, 2006) mientras que la energía eólica en España creció con un IPCA del 60 % entre 1994 y 2004 (EIA, 2005).

**Tabla 3.15 Tecnologías emergentes y comerciales que permiten sustituir combustibles fósiles por biocombustibles (Islas y col., 2006)**

Biocombustible	Tecnología	Substituto de tecnología o combustible
<b>Comercialmente disponibles</b>		
Biogás de rellenos sanitarios	Turbinas de gas	Residuos de petróleo en las turbinas de vapor
Residuos forestales y agrícolas	Incineradores	Residuos de petróleo en las turbinas de vapor
Cualquier mezcla de gasolina y etanol	Motores de combustión interna flexibles	Motores de combustión interna solo para gasolina o etanol
Leña	Motores de combustión interna de diesel	Diesel
Residuos del ganado	Biodigestores y estufas de biogás	Estufas de leña tradicionales
<b>Emergentes</b>		
Plantaciones forestales, residuos forestales y bagazo	Gasificadores de ciclo combinado para biomasa	Incineradores de ciclo combinado con gas natural

Escenarios de bioenergía de alta y moderada penetración son el resultado cuando los biocombustibles son introducidos en la generación eléctrica, el transporte y sectores residenciales con tasas de penetración diferentes, que reflejan su difusión durante las fases de madurez y de aparición.

### 3.4.2.3 Escenarios para la generación de electricidad

La gasificación integrada de ciclo combinado (GICC) desarrollada en un principio para usar el carbón mineral como fuente de energía también puede ser usada con el bagazo y residuos forestales en un proceso llamado GIBCC. Este reciente desarrollo ha abierto nuevas posibilidades para el uso de biocombustibles. El escenario asume la opción del GIBCC como una tecnología de energía emergente que será introducida al mercado hacia el 2010. Corti (2004) ha examinado con resultados favorables el uso leña y residuos forestales como combustible para una planta de GIBCC. Un estudio similar hecho por Turn (1999) y Larson (Larson, 2005) sobre la utilización del bagazo de caña de azúcar como combustible en plantas GIBCC concluyeron con resultados positivos. Otros autores como Dowaki (Dowaki, 2005) y Rhodes (Rhodes, 2005) hicieron un análisis económico y cálculos sobre la captura de carbón y almacenaje usando GIBCC y otros sistemas de gasificación. Con respecto a la eficiencia de gasificadores de biomasa integrados con turbinas de gas, los resultados varían entre el 35-40 % cuando se alimentan con la biomasa sólida (Bain y Craig, 1997). Los factores de carga varían según la disponibilidad de la biomasa, pero las plantas GIBCC pueden llegar a presentar una eficiencia hasta del 80 % (Bain y Craig, 1997).

En 2001, Larson (2005) consideró que las turbinas de los gasificadores integrados de biomasa de ciclo combinado (GIBCC) habían duplicado la producción de electricidad por unidad de

biomasa en comparación con las turbinas de vapor de condensación convencional (CEST). Para los sistemas de GIBCC se espera que tengan bajos costos de inversión por kilowatt de capacidad instalada. Recientemente, Rhodes (2005) realizó un análisis y consideró el costo de almacenaje, la eficiencia, el costo de inversión y el factor de carga. Este análisis ha mostrado que los sistemas GIBCC son competitivos comparados con el costo de tecnologías convencionales y pueden proporcionar reducciones de emisiones rentables.

Por otra parte, las actuales leyes en México permiten la generación de electricidad para su autoconsumo y necesidades de cogeneración, en particular en las actividades industriales. Sin embargo, el bagazo de caña de azúcar ha sido la única fuente de biomasa oficialmente usada para la cogeneración de electricidad y calefacción en el sector de energía mexicano. Desde el año 2003, la capacidad instalada del sector energético para autoconsumo ascendió a 2,224 MW y generó 55 millones de GJ, que eran equivalentes al 49 % y al 43 % de la capacidad instalada de autoconsumo a nivel nacional y la electricidad generada en aquel año, respectivamente. Vale la pena mencionar que el 19 % (428 MW) de esta capacidad instalada fue generada por turbinas de vapor alimentadas por bagazo, que generaron el 10 % de la electricidad suministrada para el autoconsumo en la rama industrial en el mismo año.

Se asume que es técnica y económicamente factible para el sector energético generar electricidad de plantaciones de combustible a través del uso de GIBCC hacia el 2015. Estas plantas tienen una capacidad de hasta 250 MW (Bain y Craig, 1997). En el caso del bagazo de caña de azúcar, estos proyectos funcionan con una eficiencia promedio del 40 % y un factor de carga del 60 %. El problema de que el bagazo no está disponible todo el año puede ser solucionado con una combinación de bagazo y plantaciones forestales (Van der Brock, 1998).

Finalmente, se asume que no sólo los rellenos sanitarios y proyectos de biogás a partir de los desechos de animales se pueden usar para la generación de energía sino que también el uso de celulosa y otros residuos sólidos de biomasa son económicamente factibles de usarse. El biogás es usado en turbinas de ciclo combinado de gas o de vapor con una eficiencia del 32 % y un factor de carga del 60 % (Shin y Park, 2005). La celulosa y otros residuos sólidos de biomasa (Murphy, 2006) son incinerados directamente en una caldera, usando el vapor sobrecalentado en una turbina convencional de vapor y acoplados a un generador eléctrico. Estas plantas funcionan con una eficiencia del 36 % y un factor de carga del 60 %.

#### **3.4.2.3.1 Escenario usando Incineradores de biomasa de ciclo combinado (IBCC)**

Considerando un escenario de fuerte penetración en las plantaciones forestales, las suposiciones consideradas son las siguientes:

1. Para evitar la deforestación de bosques naturales y promover su empleo de manera sostenible, la leña obtenida de plantaciones forestales de crecimiento rápido como la Acacia y el Eucalipto necesitan entre 5 y 8 años para madurar y poder ser usados (Dowaki, 2005).
2. las plantaciones Forestales serán totalmente maduras para producir leña en 2015. De ahí, sólo la fase emergente ha sido analizada entre 2015 y 2030, donde esta opción de tecnología de biocombustibles tendría un Índice de Crecimiento Promedio Anual (ICPA) del 38 % (Rhodes, 2005).

### **3.4.2.3.2 Escenario del uso del bagazo en IBCC**

Considerando un escenario de fuerte penetración, las suposiciones sobre el bagazo son las siguientes: Como consecuencia de la gran demanda de etanol, las zafra experimentan una gran extensión. Por lo tanto, la cantidad de bagazo disponible para ser explotado en plantas IBCC se incrementa.

La fase emergente ha sido dividida en dos etapas de penetración: La primera corresponde a una etapa de crecimiento rápida a partir de 2010 hasta 2023 con un ICPA del 30%. En la segunda etapa, el índice de crecimiento disminuye, pero todavía permanece considerablemente alto con un ICPA del 20.8 %.

En contraste, en un escenario de moderada penetración se asume la existencia de una barrera la cual provoca una disminución en la producción de bagazo. Esta barrera reduce la velocidad de la puesta en marcha de proyectos debido a la falta de incentivos económicos.

### **3.4.2.3.3 Incineradores de residuos de biomasa**

En un escenario de fuerte penetración, o escenarios realizados para los residuos de biomasa son los siguientes:

1. Las fuentes de financiamiento están disponibles por un posible programa nacional que promueva el uso de incineradores.
2. Ha sido puesto en marcha un sistema de logística eficiente para la recolección de biomasa.
3. Leyes nacionales y normas han sido adaptadas de modo que se puedan establecer pequeñas plantas generadoras (30MW en promedio), que son ubicadas cerca del lugar donde encuentran la mayor parte de los recursos.

Debido a estos factores positivos, las fases siguientes han sido identificadas: una fase emergente, dividida en dos etapas de penetración, y el principio de una fase de madurez. Durante la primera etapa emergente, esta opción de tecnología tendría un ICPA del 38 % entre 2005 y 2015 mientras que en la segunda etapa emergente crecería en promedio 31 % por año a partir de 2016 hasta 2023. Este valor de ICPA es inferior a lo esperado pero todavía se podría considerar alto. La fase de madurez comenzaría en 2024, creciendo en promedio 20 % por año hasta el 2030.

Al contrario, el escenario de moderada penetración asume la existencia de dos barreras asociadas a problemas de financiamiento así como a la carencia de condiciones institucionales que limitan el apoyo a proyectos de generación eléctrica. Debido a esto la velocidad de difusión se reduce y esto conduciría a la primera etapa emergente a tener un ICPA del 30 % entre el 2005 y el 2015. Durante la segunda etapa emergente, el uso de tecnología de biocombustibles crecería en promedio 22 % por año a partir del 2016 hasta el 2023. La fase de madurez comenzaría en 2024, creciendo en promedio 17 % por año hasta el 2030.

### **3.4.2.3.4 Biogás de rellenos sanitarios**

Considerando un escenario de fuerte penetración, los escenarios para el despliegue de rellenos sanitarios para la producción de biogás son las siguientes:

1. Los esquemas de Financiamiento como el MDL facilitan desarrollo de esta opción

## 2. Legislaciones Estatales y Municipales promueven el despliegue de rellenos sanitarios

La fase emergente ocurre durante un período largo de modo que la tasa de crecimiento anual sería de 24 % a partir del 2005 hasta el 2023. Por lo tanto, la fase de madurez comenzaría en el 2024, creciendo a partir de entonces en tasa promedio del 18.2 % por año.

De modo contrario, si se considera un escenario de moderada penetración se asume que el flujo de finanzas no es suficiente para apoyar una penetración importante de esta opción y el marco legal requerido para promover esta tecnología se desarrolla lentamente. Por lo tanto, durante la fase emergente, la difusión de esta opción crecería una tasa promedio de 18 % anual a partir del 2005 hasta el 2023. La fase de madurez comenzaría en 2024, creciendo en tasa promedio de 16 % anual hasta el año 2030.

### **3.4.2.4 Escenarios del sector de transporte**

El sector del transporte ha sido el de mayor demanda de energía en México desde 1968, excepto en el periodo de 1983-1987. Según el Balance Nacional de Energía del 2005 (SENER, 2005), el consumo de energía de este sector alcanzó 1,864 PJ y se consideró el 45.7 % de la demanda de energía en México en aquel año. El sector del transporte consumió el 91 % de estas exigencias de energía, donde la gasolina y el diesel representaron el 64 % y el 24 % de dicha demanda, respectivamente. Con este trabajo de Islas y col. (2006), se asumió que el etanol y biodiesel son técnica y económicamente las opciones más viables que pueden ser usadas en el sector transporte en México.

Es importante mencionar que las experiencias de los brasileños han demostrado que es posible alcanzar la producción a gran escala y que la compatibilidad económica del etanol de caña de azúcar con respecto a los precios internacionales de la gasolina es posible (Goldemberg y Texeira, 2004).

Además en México, la ley de Promoción y Desarrollo de Biocombustibles (CGEUM, 2008) parece ser el primer paso hacia un empleo masivo de biocombustibles en el sector de transporte, y lograr con esto la puesta en marcha de programas para la producción y el desarrollo de etanol y biodiesel en el país.

#### **3.4.2.4.1 Etanol**

El etanol es el biocombustible más usado en el mundo. Actualmente la mayor parte se obtiene a partir de la caña de azúcar y de granos oleaginosos. Existen al menos tres formas de ampliar el uso del etanol en el sector de transporte.

La primera opción es el uso del etanol para producir ETBE (éter terbutil etil), un aditivo de oxigenación cuando se mezcla con la gasolina hasta 15 % de volumen, como actualmente lo hacen en Francia, España y Alemania. El ETBE aumenta el octanaje en la mezcla y reduce las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos que no se queman. El ETBE está compuesto por 48 % de etanol y 52 % de isobutileno (un subproducto de refinación del petróleo). El ETBE es un sustituto adecuado para el MTBE (metil terbutil éter), un aditivo de oxigenación que actualmente es prohibido en algunos estados de Estados Unidos porque es considerado "un cancerígeno potencial para el ser humano", así lo ha declarado el Departamento del Medio Ambiente estadounidense (EPA, 2007).

Una segunda opción es la mezcla de etanol anhidrido (deshidratado) con gasolina. En este caso, el etanol anhidrido es también un aditivo de oxigenación que aumenta el octanaje de la mezcla. Varios países mezclan el etanol anhidrido en proporciones que varían entre el 5 y el 26 % de volumen.

La tercera opción es el uso del etanol en su forma pura (E100) como un combustible de transporte en vehículos, sobre todo los que han sido modificados por esta razón. En Brasil, aproximadamente 5 millones de vehículos que utilizan el E100 han sido vendidos desde 1979.

Estas ventas representaron el 76 % del total de ventas de vehículos en 1986, pero han estado disminuyendo desde entonces. Sin embargo, en 2003, fue presentada una nueva tecnología, dicha tecnología permitió el empleo de cualquier mezcla de gasolina y etanol. Los vehículos con motores de combustión flexibles, que automáticamente pueden adaptarse a los parámetros de combustión de cualquier mezcla de gasolina y etanol han estado ganando una parte creciente del mercado automotriz, en particular en EU y Brasil. México llegó a poseer una infraestructura para producir 66 millones de litros de etanol en 2005, de los cuales la mayor parte se emplean para la salud y bebidas.

Considerando un escenario de fuerte penetración para la producción de etanol para el transporte; Islas y col. (2006) hicieron las siguientes suposiciones:

1. La tecnología para la producción de Etanol está disponible en el mercado,
2. La industria azucarera ha destinado una parte de su producción para la fabricación de etanol,
3. Hay una extensión de tierra agrícola dedicada a zafras para la producción de etanol,
4. La barrera técnica relacionada con la propiedad higroscópica del etanol anhidrido ha sido rebasada para construir una infraestructura que permita de manera continua deshidratar el etanol,
5. PEMEX, la compañía petrolera que tiene el monopolio del sector petrolero en México, tiene la obligación de mezclar el etanol anhidrido con la gasolina, comenzando con un 5% de etanol en la mezcla (E5) y aumentarlo de manera gradual. Esta mezcla es distribuida en las ciudades más grandes de todo el país a partir del 2005 y será vigente a nivel nacional hacia el 2010. Más tarde, la tecnología de doble combustible es introducida en el país, permitiendo solamente el empleo de etanol puro (E100) en motores de combustión interna,
6. Existen incentivos fiscales y subsidios gubernamentales para promover el uso de biocombustibles.

Por lo tanto, la fase emergente tendría una etapa inicial (a partir del 2005 y hasta el 2015) caracterizada por un ICPA del 45 %. Más tarde, en una segunda etapa de esta fase emergente, se reduciría el índice de crecimiento de producción de etanol al 30 % hasta el 2025. A partir de 2026 la fase de madurez de producción de etanol comenzaría, creciendo en una tasa promedio del 20.5 % anual hasta el 2030, como se muestra en la Figura 3.19. Considerando un escenario de moderada penetración se asume que:

1. Los problemas de la propiedad higroscópica de etanol anhidrido no son resueltos de manera inmediata,

2. PEMEX acepta mezclar el etanol con la gasolina substituyendo MTBE por ETBE. Esta mezcla es distribuida sólo en las grandes ciudades (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey),
3. Más tarde, debido a una obligación legal, PEMEX comienza a mezclar el etanol anhídrido con la gasolina en 2020, alcanzando su distribución a nivel nacional de la mezcla del 5 % (E5) para el 2024. En el 2025, la mezcla de 10 % (E10) es distribuida en las ciudades grandes, alcanzando su distribución a nivel nacional en el 2030,
4. Existen serias restricciones para ampliar la tierra agrícola dedicada a zafras para la producción de etanol,
5. Debido a esto, la fase emergente tendría una etapa inicial (a partir del 2005 y hasta el 2015) caracterizada por un ICPA del 40 %.

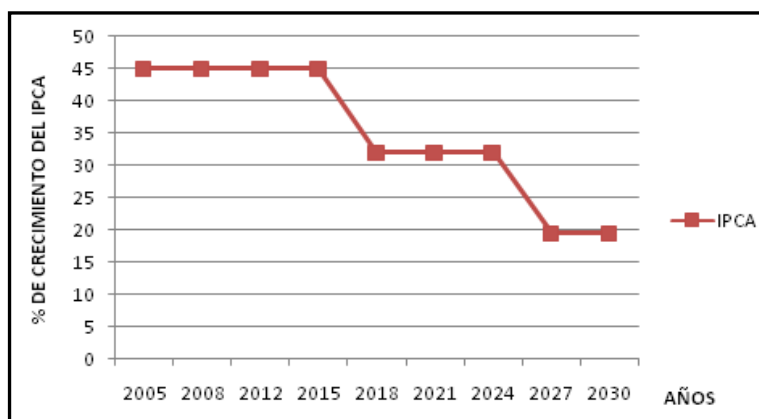


Figura 3.19 Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del bioetanol

Más tarde, en una segunda fase de la etapa emergente, esta tasa promedio crecería en 30 % de manera anual a partir de 2016 hasta 2025. En la fase de madurez (que comenzaría después del 2025) la producción de etanol crecería con un ICPA del 13 % hasta el 2030, como se muestra en la Figura 3.20.

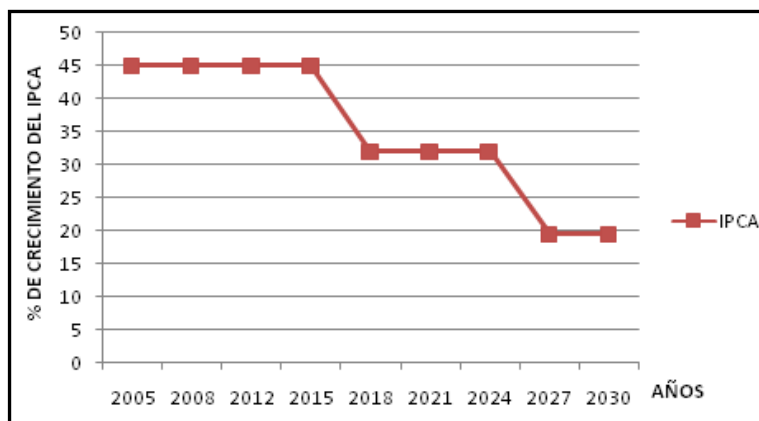


Figura 3.20 Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del bioetanol

#### 3.4.2.4.2 Biodiesel

El biodiesel, o el éster de metilo del aceite de semillas (VOME), es el segundo biocombustible líquido más usado en el mundo. El biodiesel es obtenido de plantas oleaginosas (p.

ej. la semilla de colza, la palmera del aceite, la soya o el girasol). Es producido por una reacción de transesterificación de aceite de semillas y alcohol como el metanol o el etanol. El biodiesel puede ser usado en su forma pura o mezclado con el diesel convencional para su empleo en motores diesel convencionales (TOTAL, 2003). En 2005, la producción de biodiesel en México alcanzaba los 0.25 PJ (RMB, 2005).

Considerando un escenario de fuerte penetración para la producción de biodiesel, las siguientes suposiciones fueron hechas:

1. El biodiesel puede usar la misma infraestructura que el diesel, entonces PEMEX es cooperativo con el proyecto,
2. Los motores diesel requieren sólo ajustes mecánicos menores para usar el 100 % biodiesel (B100),
3. Hay índice creciente sobre la extensión de la tierra agrícola dedicada a plantas tropicales (p. ej. la aceite de palma) y plantas de clima templado (p. ej. la semilla de colza y la soya) que son una fuente para la producción biodiesel.
4. Hay incentivos fiscales y subsidios gubernamentales para promover el uso de biocombustibles.

El uso de biodiesel crece rápidamente con un ICPA del 45 % a partir del 2005 hasta el 2015 – que es la primera etapa de una fase emergente. Más tarde, en la segunda etapa y en la etapa final, la producción de biodiesel reduciría su ICPA a 33 % a partir del 2015 hasta el 2023. La fase de madurez de producción biodiesel comenzaría en el 2023, creciendo 21 % cada año hasta el 2030, como se muestra en la Figura 3.21.

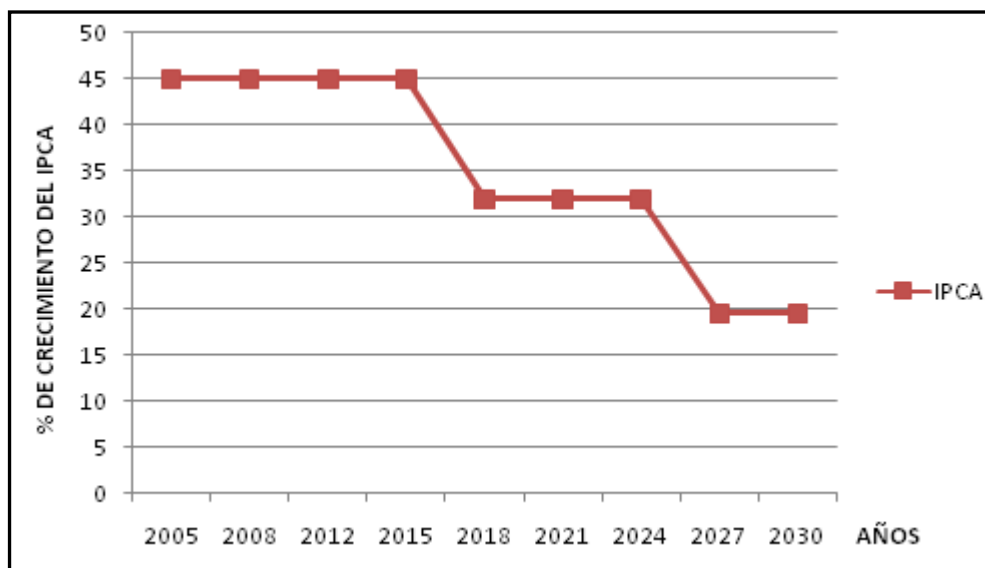


Figura 3.21 Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del biodiesel

Considerando un escenario de moderada penetración en la producción biodiesel, no existe una gran expansión en las tierras dedicadas a la producción de plantas de clima tropical y templado que usadas para la producción de biodiesel, ya que no hay bastantes incentivos fiscales y subsidios gubernamentales para promover el uso del biodiesel.



Por lo tanto, en la segunda etapa de la fase emergente, el uso del biodiesel tendría un ICPA del 40 % a partir del 2005 hasta el 2015. Más tarde, en una segunda etapa, la producción de biodiesel crecería con una tasa promedio de 25 % de forma anual a partir del 2016 hasta el 2026. La fase de madurez comenzaría en el 2027, creciendo con una tasa promedio de 15 % de forma anual hasta el 2030, como se muestra en la Figura 3.22.

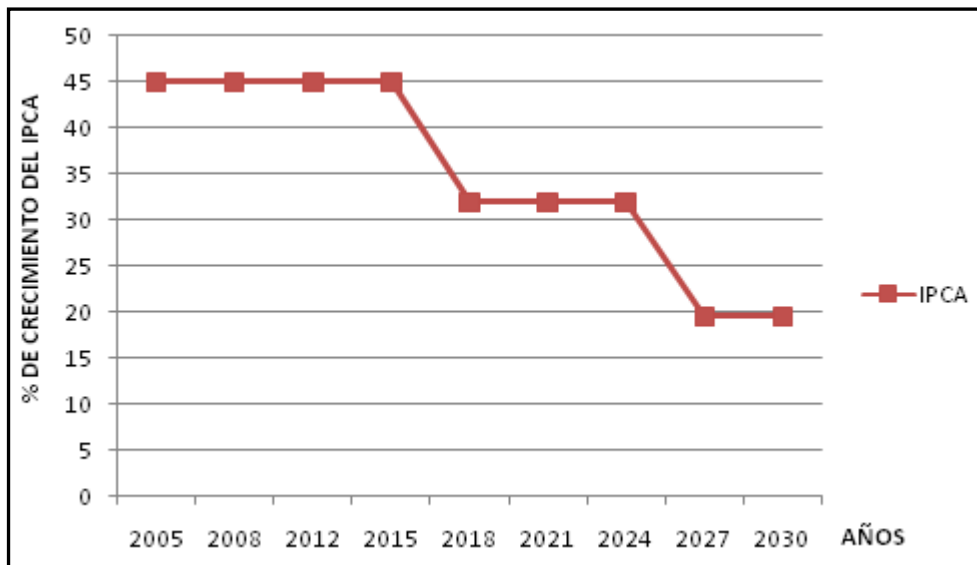


Figura 3.22 Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del biodiesel

### 3.4.2.5 Sector residencial

En el sector residencial, en particular en el subsector rural, la introducción de estufas eficientes y estufas de biogás fue analizada en el trabajo de Islas y col. (2006). La deforestación es un fenómeno global con consecuencias ecológicas cada vez más serias. Siendo la tala clandestina e indiscriminada de árboles para obtener leña, la extensión de tierras agrícolas y la cría de ganado las causas principales de la deforestación. El empleo de leña para la cocina, principalmente en el subsector rural, también hace presión sobre los bosques, contribuyendo a su deterioro (Guerrero y Masera, 2003). Las alternativas para disminuir la presión sobre los bosques se enfocan en emplear métodos alternativos para substituir la manera tradicional de cocinar y calentar agua en el sector rural.

Se puede realizar un enfoque sobre dos variables: El tipo de estufa y el tipo de combustible. Se asume que los fogones tradicionales son substituidos por estufas eficientes de leña y de biogás (Wick, 2004). Aproximadamente la cuarta parte de la población mexicana cocina con fogones tradicionales. Estos dispositivos son muy ineficientes y condujeron a un consumo anual de energía de 257 PJ en el año 2003 (aproximadamente el 30 % del consumo del sector residencial en México) (Díaz, 2000). Varios modelos de estufas eficientes han sido diseminados en México.

Pocos programas de substitución de estufas de leña han tenido impacto en México a esta fecha, ya que no hubo apoyo del gobierno para lanzar iniciativas a gran escala. El número total de estufas diseminadas en los pasados 15 años alcanza menos de 3,000. Este hecho contrasta con las

aproximadamente 6 millones de casas que usaron el combustible tradicional para cocinar en 2003 (Ghilardi y col., 2005).

Considerando un escenario de fuerte penetración, se asume que habrá un cambio en las prioridades del gobierno que conducen al lanzamiento de programas de implementación de estufas eficientes a gran escala. También se asume que el empleo de residuos de ganado para obtener el biogás mediante un biodigestor en las casas en México crece tan rápido como el uso de estufas eficientes. Esto representaría 680,000 estufas de biogás con un biodigestor, hacia el 2030, o que representa el 7 % de las casas rurales (Islas y Manzini, 2004).

En este mismo escenario, para estimar la penetración estufas eficientes de leña y biogás en la población rural de México, las siguientes suposiciones fueron hechas en el trabajo de Islas y col. (2006):

1. Debido al apoyo de sector gubernamental y privado, hay un programa a gran escala para desplegar estufas eficientes, de biogás y biodigestores entre la población rural, similar al introducido en China desde 1990 (Jingming, 1990),
2. El biogás es producido mediante un biodigestor en una casa con el excremento de animales,
3. México alcanza un apoyo económico internacional importante mediante proyectos del MDL para reducir emisiones gases efecto invernadero y la prevención de deforestación, y de otras instituciones humanitarias para la salud y ayuda a la pobreza.

La fase emergente es dividida en dos etapas. En la primera etapa emergente, la introducción de estufas eficientes de leña y de biogás crece con un ICPA del 50 % entre el 2005 y el 2015, luego en un porcentaje menor, pero a un alto nivel de penetración, la segunda la etapa emergente crece con un 35 % ICPA a partir del 2016 hasta el 2025. La fase de madurez comenzaría en 2026, creciendo con un ICPA del 21.7 % hasta el 2030 como se muestra en la Figura 3.23.

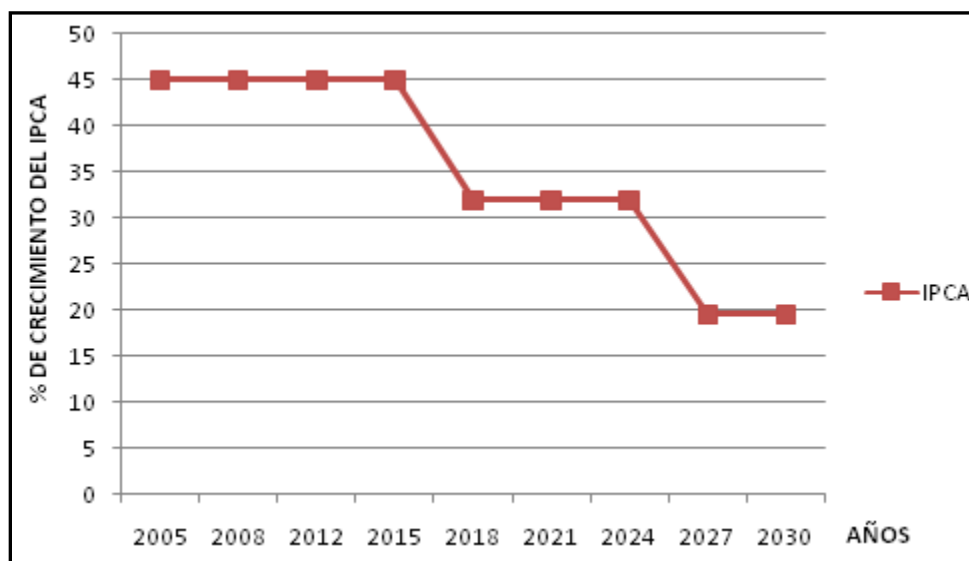


Figura 3.23 Crecimiento del ICPA en la fase emergente en el periodo 2005-2030 del sector residencial

Considerando un escenario de moderada penetración, el número total de estufas es aproximadamente la mitad del número del escenario de fuerte penetración, debido a la siguiente suposición: No existe suficiente apoyo gubernamental e internacional para promover las estufas eficientes de leña y de biogás. En la primera etapa de la fase emergente se asume que el empleo de estufas eficientes y de biogás crecería en tasa promedio de 45 % de forma anual a partir del 2005 hasta el 2015. Más tarde en una segunda etapa a partir del 2015 hasta el 2025 ambas estufas crecerían con un ICPA del 32 %, y al principio de la fase de madurez, a partir del 2025 hasta el 2030 con un ICPA de 19.6 %, como se muestra en la Figura 3.24.

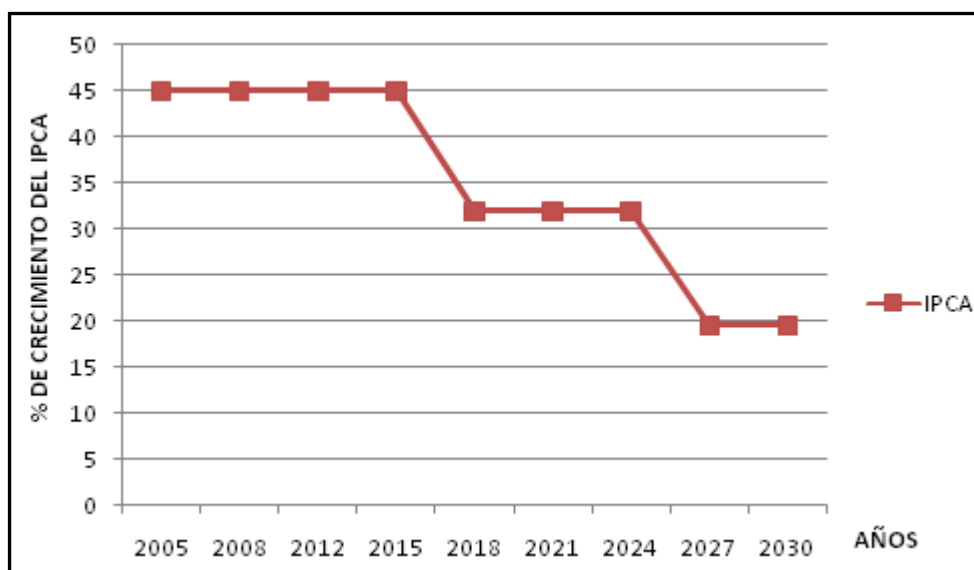


Figura 3.24 Crecimiento del ICPA en la segunda fase emergente en el periodo 2005-2030 del sector residencial

### 3.4.3 Resultados del análisis de escenarios

Esta sección presenta los resultados obtenidos por Islas y col. (2006) sobre la simulación que usa el programa de SPAELA así como una evaluación de los efectos físicos y ambientales de los escenarios alternativos antes mencionados.

#### 3.4.3.1 Generación eléctrica

En el escenario de alta penetración, las cuatro opciones de tecnología de energía a base de biomasa para la generación de electricidad alcanzarían una capacidad instalada de 440 MW hacia el 2015 y 16,987 MW hacia el 2030. En términos de generación eléctrica, esta capacidad produciría 8.3 PJ en el 2015 y 321.7 PJ en el 2030. La introducción de bioenergía representaría el 0.8 % y el 18.2 % de la energía total consumida en el sector eléctrico hacia el 2015 y el 2030, respectivamente. Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, representarían el 0.7 % y el 15.5 % de las emisiones del escenario base en el 2015 y el 2030. Estas cifras ascenderían a 0.6 y 21.6 millones de toneladas hacia el 2015 y el 2030, respectivamente (ver Tabla 3.16).

En el escenario moderado, las cuatro opciones a base de biomasa para la generación de electricidad alcanzarían una capacidad instalada de 297 MW hacia el año 2015 y 6697 MW hacia el 2030. Esta capacidad puede representar una generación de electricidad anual de 5.6 PJ en el 2015 y 127 PJ en el 2030. Se reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> en 0.4 % y 6.1 % en lo que concierne al

escenario base durante los años 2015 y 2030, respectivamente. Esta reducción sería equivalente a 0.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas hacia el 2015 y 8.5 millones de toneladas hacia el 2030 (ver Tabla 3.16).

**Tabla 3.16. Resultados para los escenarios de bioenergía en la generación de electricidad (Islas y Manzini, 2002)**

Sector eléctrico	Escenario moderado		Escenario alto	
	2015	2030	2015	2030
Capacidad instalada (MW)	297	6697	440	16,987
Generación eléctrica (PJ)	5.6	127	8.3	322
Consumo de bioenergía (PJ)	15.3	332.5	23	855
Total de bioenergía usada (%)	0.5	7.1	0.8	18.2
Emissiones de CO <sub>2</sub> evitadas (millones de toneladas)	0.3	8.5	0.6	21.6
Emissiones de CO <sub>2</sub> evitadas (%)	0.4	6.1	0.7	15.5

### 3.4.3.2 Sector transporte

#### 3.4.3.2.1 Etanol

En el escenario de alta penetración, el consumo de etanol crecería de 20.5 PJ en 2015 a 719.5 PJ en 2030. La contribución del etanol sería del 0.68 % y el 13.18 % de la energía total usada en el transporte hacia 2015 y 2030, respectivamente. La participación del etanol en el sector automotriz sería del 1.27 % en 2015 y del 20 % en 2030.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas serían de 1.23 millones de toneladas en el año 2015 y 34.06 millones de toneladas en el 2030. Esta reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> representaría el 1.27 % y el 20 %, respectivamente, comparado con emisiones de gasolina (ver Tabla 3.17).

**Tabla 3.17 Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso del etanol usado en el sector transporte (Islas y col., 2006)**

Etanol en el sector transporte	Escenario moderado		Escenario alto	
	2015	2030	2015	2030
Consumo de energía (PJ)	14.5	367.3	20.5	719.5
Energía total del etanol (%)	0.48	6.73	0.68	13.18
Etanol (Etanol + gasolina) (%)	0.80	10.19	1.27	20.00
Emissiones de CO <sub>2</sub> evitadas (millones de toneladas)	0.77	17.35	1.23	34.06
Emissiones de CO <sub>2</sub> evitadas (%)	0.80	10.19	1.27	20.00

En el escenario moderado, el consumo de bioetanol alcanzaría 14.5 PJ en el año 2015 y 367.3 PJ en el 2030 y sería equivalente al 0.48 % y al 6.73 % del total de energía usada en el transporte, respectivamente. La participación del etanol en el sector automotriz sería del 0.80 % en el 2015 y del 10.19 % en el 2030. Con respecto a las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>, este escenario añadiría hasta 0.77 millones de toneladas en el año 2015 y 17.35 millones de toneladas en el 2030. Estas emisiones evitadas representarían una reducción del 0.80 % y del 10.19% en los niveles de CO<sub>2</sub>, respectivamente, cuando se compara con emisiones de gasolina.

### 3.4.3.2.2 Biodiesel

En el escenario de alta penetración, el consumo de biodiesel crecería de 10.3 PJ en 2015 a 381.9 PJ hacia el 2030. La participación del Biodiesel en el sector de transporte sería del 0.34 % y del 6.99 % de la energía total consumida por vehículos abastecidos de diesel en el 2015 y el 2030, respectivamente. La participación de biodiesel en el sector automotriz sería del 1.30 % en el 2015 y del 26.91 % en el 2030. Además, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas serían de hasta 0.72 millones de toneladas en el 2015 y 25.60 millones de toneladas en el 2030. Esta reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> representaría el 1.30 % y el 26.91 %, respectivamente, cuando se compara con emisiones de diesel (ver Tabla 3.18).

En el escenario moderado, el consumo de biodiesel alcanzaría 7.2 PJ en el 2015 y 147.2 PJ en el 2030 y sería equivalente al 0.24 % y el 2.70 % de energía total usada en el sector de transporte, respectivamente. La contribución de biodiesel al sector automotriz representaría el 0.92 % y el 10.37 % del consumo en el 2015 y el 2030. El total emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas ascenderían a 0.51 millones de toneladas en el año 2015 y 9.87 millones de toneladas en el año 2030, que corresponde a una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 0.92 % y del 10.37 %, respectivamente, cuando es comparado con emisiones de diesel (ver Tabla 3.18).

**Tabla 3.18 Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso del biodiesel usado en el sector transporte (Islas y col., 2006)**

Biodiesel en el sector transporte	Escenario moderado		Escenario alto	
	2015	2030	2015	2030
Consumo de energía (PJ)	7.2	147.2	10.3	381.9
Energía total del biodiesel (%)	0.24	2.70	0.34	6.99
Biodiesel (Biodiesel + diesel) (%)	0.92	10.37	1.30	26.91
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas (millones de toneladas)	0.51	9.87	0.72	25.60
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas (%)	0.92	10.37	1.30	26.91

### 3.4.3.2.3 Etanol y biodiesel

En el escenario de alta penetración, el consumo de etanol y biodiesel alcanzarían 30.8PJ en el 2015, que aumentan hasta 1101.4 PJ en el 2030. La contribución de estos biocombustibles a la

cantidad total de energía usada por el sector de transporte sería del 1.02% en 2015 y del 20.17 % en 2030. Además, los biocombustibles participarían con el 1.28 % y el 21.95 % en el sector automotriz hacia el 2015 y el 2030. Las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> ascenderían a 1.95 millones de toneladas en 2015 y 59.65 millones de toneladas en 2030. Esto representaría una reducción del 1.28 % y el 21.95 % hacia el 2015 y el 2030 (ver Tabla 3.19).

**Tabla 3.19 Consumo de energía, emisiones de GEI y el uso de etanol y biodiesel en el sector transporte (Islas y col., 2006)**

Biocombustibles en el sector transporte	Escenario moderado		Escenario alto	
	2015	2030	2015	2030
Consumo de bioenergía (PJ)	21.7	514.6	30.8	1101.4
Energía total de biocombustibles (%)	0.72	9.43	1.02	20.17
Biocombustibles (etanol+gasolina)+(biodiesel+diesel) (%)	0.83	10.24	1.28	21.95
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas (millones de toneladas)	1.27	27.18	1.95	59.65
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas (%)	0.83	10.24	1.28	21.95

En el escenario moderado, el consumo de etanol y biodiesel alcanzarían 21.7 PJ hacia el 2015 y 514.6 PJ hacia el 2030. La contribución del etanol y biodiesel en lo que concierne a la cantidad total de energía usada por el sector de transporte sería el 0.72 % en el 2015 y el 9.43% en el 2030. Además, la participación de biocombustibles en el sector automotriz sería de 0.83 % en el 2015 y de 10.24 % en el 2030. Finalmente, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas serían de 1.28 millones de toneladas en el 2015 y 27.22 millones de toneladas en el 2030. Estas emisiones evitadas representarían una reducción de los niveles de CO<sub>2</sub> del 0.83 % y del 10.24 % durante años 2015 y 2030 (ver Tabla 3.19).

### 3.4.3.3 Sector residencial

La introducción de estufas eficientes de leña y de biogás se desarrolla durante una etapa de reducción de la demanda de combustible, por lo tanto se evita la deforestación y la degradación forestal.

Generalmente, las estimaciones del potencial de mitigación de carbón dependen de los ahorros de combustible, asociado al uso de estufas eficientes, el tipo de combustible, condiciones geográficas y climatológicas entre otras variables. Sin embargo, una mitigación promedio de carbón para estufas eficientes fue calculada para México obteniéndose como resultado que 5,000 estufas por año puestas en operación. Asumiendo este valor promedio como representativo para todas las condiciones mexicanas, el total de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas considerando un escenario de alta penetración sería aproximadamente 0.12 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente hacia el 2015 y 6.23 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente hacia el 2030 (ver Tabla 3.20).

Además, la reducción en el consumo de combustible se reduce en 0.35 % por año en comparación con el escenario base, causando 0.08 millones de toneladas de combustible ahorrado en el año 2015. Después, el consumo de combustible alcanzaría un máximo en el 2023 (ver Figura

3.25) y luego disminuiría progresivamente. Hacia el 2030 la reducción del consumo de combustible ascendería a 4.05 millones de toneladas y sería equivalente a un ahorro del 15.87 %. El número de estufas eficientes introducidas en el 2015 sería 64,432 y 3,400,080 en el 2030. Su consumo cambiaría de 42.67 PJ en el 2015 a 113.78 PJ en el 2030, representando el 13.89 % y el 36.60 % del combustible total usado en el sector residencial, respectivamente. El resto de este combustible sería usado en estufas tradicionales.

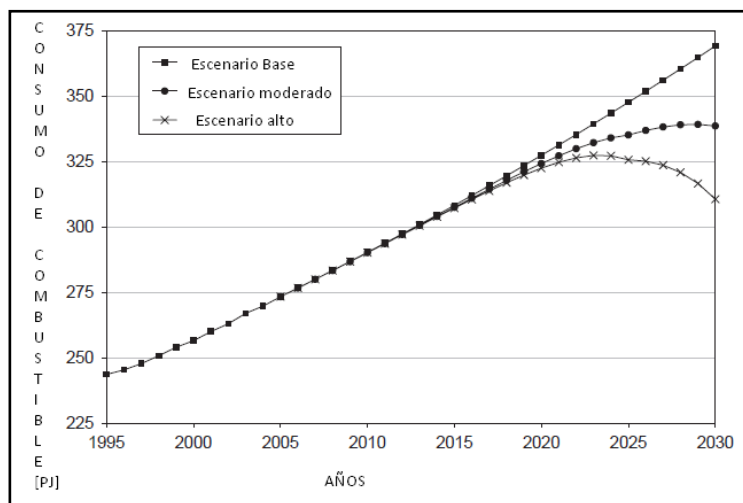


Figura 3.25 Consumo de combustible en los escenarios base, moderado y alto en el sector residencial (Islas y col., 2006)

En el escenario moderado, las emisiones totales de carbón evitadas serían 0.08 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes en el 2015 y 3.26 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente hacia el 2030 (ver Tabla 3.20). El consumo anual de combustible sería de 0.25 % menos que el consumo en el escenario base hacia el año 2015 y 0.05 millones de toneladas combustible ahorrado. Más tarde, el consumo de combustible alcanzaría un máximo en el 2029 (ver Figura 3.25) y luego disminuiría progresivamente. En el 2030, la reducción del consumo en lo que concierne al escenario base sería de 2.11 millones de toneladas de combustible y sería equivalente a un ahorro del 8.29 %.

Tabla 3.20 Número de estufas eficientes de leña, ahorro de combustible y emisiones de carbón evitadas en el sector residencial (Islas y col., 2006)

Sector Residencial	Escenario moderado		Escenario alto	
	2015	2030	2015	2030
Número de estufas eficientes de leña	45193	1,779,102	63,432	3,400,080
Ahorro de combustible (PJ)	0.78	30.62	1.09	58.6
Ahorro de combustible (millones de toneladas)	0.05	2.11	0.08	4.05
Ahorro de combustible (%)	0.25	8.29	0.35	15.87
Emisiones evitadas (millones de toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente)	0.08	3.26	0.12	6.23

El número de estufas eficientes introducidas en el 2015 sería 45,193 y 1,776,102 en el 2030. Su consumo se cambiaría de 24.29 PJ en el 2015 a 59.43 PJ en el 2030, que representan el 7.9 % y el 17.55 % de combustible total usado en el sector residencial, respectivamente. El resto de este combustible sería usado en estufas tradicionales.

### 3.4.3.4 Resultados generales

En el escenario de alta penetración, el empleo de tecnologías para producir energía a partir de biocombustibles en la generación de electricidad, el transporte y sectores residenciales alcanzarían 55.9 PJ hacia el 2015 y 2070 PJ hacia el 2030 (ver Figura 3.26) y sería equivalente al 0.44 % y al 16.17 % del total de la energía consumida por estos sectores, respectivamente. Además, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas en la generación eléctrica, el transporte y sectores residenciales ascenderían a 2.63 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> no biológico hacia el 2015 y 87.44 millones de toneladas hacia el 2030 (ver Figura 3.27). Estas emisiones evitadas representarían el 0.54 % y el 17.84 % del total CO<sub>2</sub> emitido por la generación de electricidad y sectores de transporte en el escenario base, respectivamente.

En el escenario moderado, el total estimado de penetración de la bioenergía en la generación de electricidad, el transporte y sectores rurales y residenciales alcanzarían 38.5 PJ hacia el 2015 y 906.5 PJ hacia el 2030 y serían equivalentes al 0.30 % y el 7.08 % del total de la energía consumida por estos sectores, respectivamente. Además, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas de la generación de electricidad, el sector de transporte y las emisiones evitadas de la deforestación y la degradación forestal en el sector rural y residencial alcanzan un total de 1.7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> hacia el 2015 y 38.98 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> hacia el 2030.

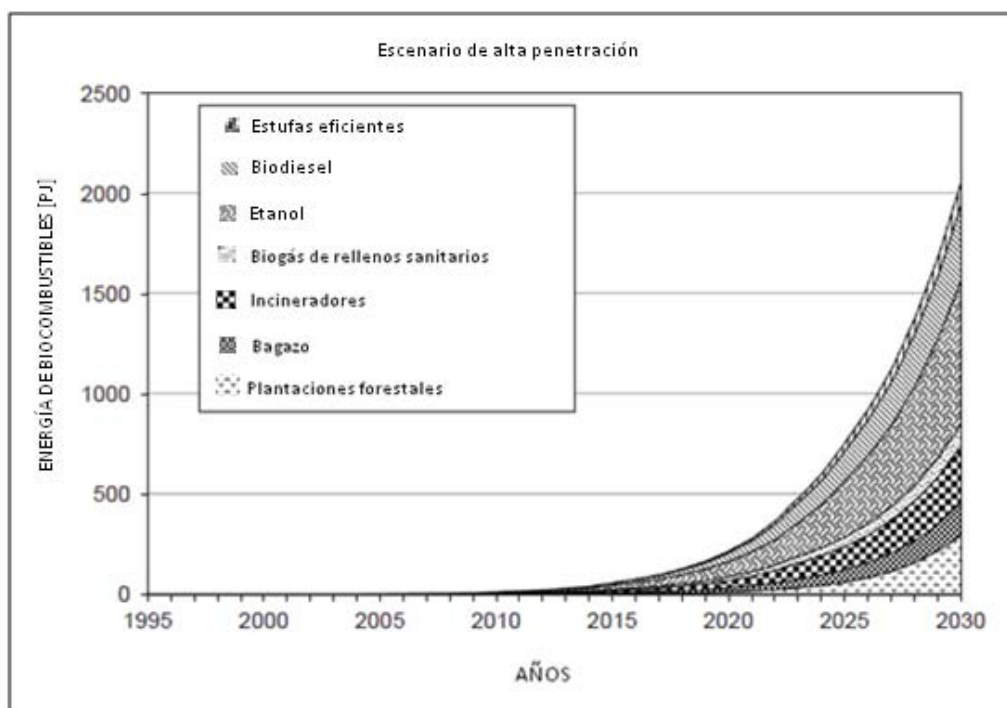


Figura 3.26 El futuro de penetración de biocombustibles en un escenario alto en sectores seleccionados (Islas y col., 2006)



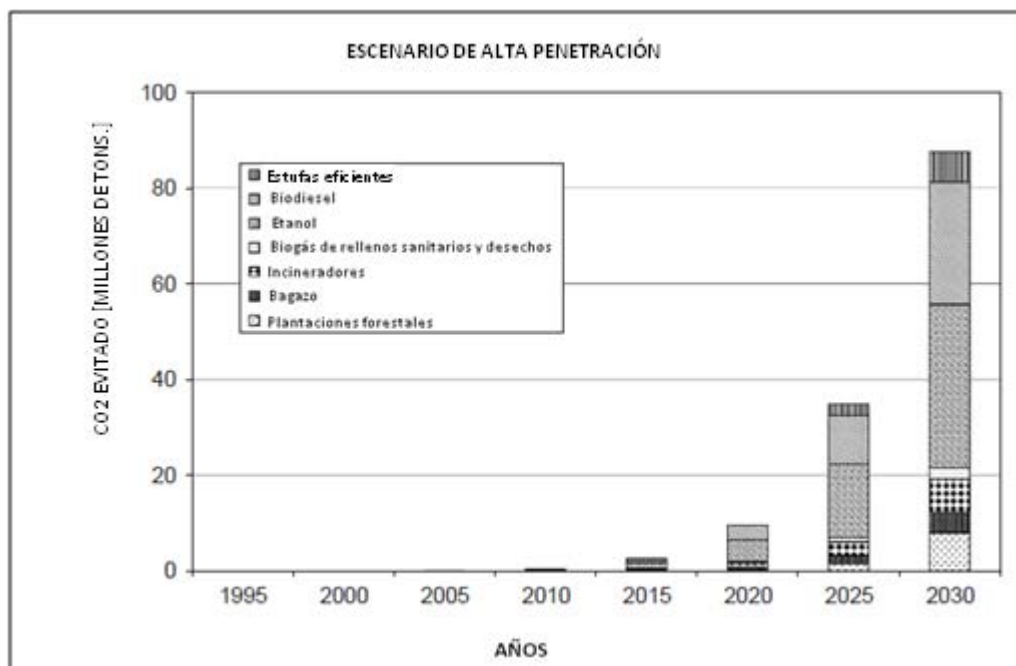


Figura 3.27 CO<sub>2</sub> evitado en un escenario alto en sectores seleccionados (Islas y col., 2006)

Estas emisiones evitadas representarían el 0.34 % y el 7.95 % de las emisiones totales de generación de electricidad y del sector de transporte en el escenario base, respectivamente.

### 3.4.3.5 Conclusiones y recomendaciones

Esta prospectiva que presenta Islas y col. (2006) muestra que el empleo de bioenergía en un escenario de fuerte penetración puede ser aumentado considerablemente para llegar a alcanzar hasta el 16.17 % del suministro de energía total del México relacionado con la generación de electricidad, el transporte y sectores rurales y residenciales hacia el 2030.

Esperan que el sector de transporte sea el principal consumidor de bioenergía con una demanda de hasta el 8.60 % de la energía total consumida en todos los sectores incluidos, seguido de la generación eléctrica (el 6.68 %) y el sector residencial (del 0.89 %). El empleo estufas eficientes puede ser equivalente al 17.84 % del total de bioenergía que es usada en la generación de electricidad, el transporte y en los sectores rural y residencial.

Cuando los cálculos son analizados por sector, indican que la participación de bioenergía en la generación de electricidad (plantaciones forestales, bagazo, residuos de biomasa y biogás de rellenos sanitarios) puede representar el 15.45 % de toda la electricidad producida en el 2030. Asimismo, la participación de la bioenergía (el etanol y biodiesel) en el sector de transporte puede representar el 20.17 % de los combustibles líquidos usados en este sector. Con respecto al sector rural y residencial, la instalación de estufas eficientes es sólo del 47 %, que indica que hay todavía un gran potencial de sustitución en esta área.

Además, el empleo intensivo de bioenergía, bajo los conceptos representados en este trabajo de Islas y col. (2006), ayudaría a reducir hasta el 16.57 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales en la generación de electricidad y el sector de transporte hacia el 2030. El mayor potencial de

reducción se encuentra en el transporte (con el 12.17 %), seguido por el sector eléctrico (con el 4.40 %).

El despliegue del potencial de sólo el 59 % de bioenergía, siendo éste el potencial estimado más bajo (3050 PJ/año), puede ayudar a reducir 81.21 millones de toneladas de las emisiones de CO<sub>2</sub> en México provenientes de la generación de electricidad y el sector de transporte hacia el 2030 y sería equivalente al 18.3 % y el 16.9 % en 1990 (Carabias, 2000) y 2002 (SEMARNAT, 2006) de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional, respectivamente. Las emisiones de carbón evitadas por la utilización de estufas eficientes en el sector rural y residencial ascenderían a 6.23 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el 2030. Este potencial sería equivalente al 7.68 % del total de emisiones evitadas en la generación de electricidad y el sector de transporte hacia el 2030. Que es más o menos equivalente al 12.25% de CO<sub>2</sub> capturado por los bosques nacionales (estimado en 50.85 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente) y es bastante compensar sus emisiones de CO<sub>2</sub> totales (estimado en 4.93 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente) (De Jong y Masera, 2006).

Estos resultados indican que es esencial para el sistema de energía desarrollar un empleo cada vez mayor de bioenergía como un sustituto de combustibles fósiles para mantener en buen estado el medio ambiente. Por lo tanto, si los recursos de la bioenergía en México no son desarrollados en una manera oportuna, México perdería la oportunidad de diversificar el sistema energético del país. Al mismo tiempo, no se crearían empleos, y el subdesarrollo en áreas rurales y los problemas asociados con la pobreza permanecerían durante mucho tiempo. El uso de bioenergía permitiría a México promover estrategias de desarrollo sustentable, en particular en el sector rural.

#### 4. Estado del arte de tecnologías usadas para biomasa en México y el mundo

Es posible observar, a nivel mundial, una tendencia hacia un alza en la producción de biocombustibles, que pueden conducir a la superación de una gran crisis económica reciente de mercado. La Figura 4.1 y la Figura 4.2 muestran el comportamiento de la producción mundial de biocombustibles en el periodo comprendido entre 1991 y 2005 para el biodiésel y entre 1975 y 2005 para el bioetanol.



## ESTADO DEL ARTE DE TECNOLOGÍAS USADAS PARA BIOMASA EN MÉXICO Y EL MUNDO

La Tabla 4.1 muestra a los cinco productores más grandes a nivel mundial de biodiésel y bioetanol y las principales materias primas usadas para la producción de estos biocombustibles.

Casi toda la producción comercial de biodiésel ocurre en Europa, donde Alemania, Francia y Italia son los principales productores. Los países europeos producen gran cantidad de biodiésel, pero la producción total de estos combustibles puede ser considerada pequeña en comparación con la producción de etanol en Brasil y los Estados Unidos.

#### 4. Estado del arte de tecnologías usadas para biomasa en México y el mundo

Es posible observar, a nivel mundial, una tendencia hacia un alza en la producción de biocombustibles, que pueden conducir a la suposición de una demanda igualmente creciente de mercado. La Figura 4.1 y la Figura 4.2 muestran el comportamiento de la producción mundial de biocombustibles en el periodo comprendido entre 1991 y 2005 para el biodiesel, y entre 1975 y 2005 para el bioetanol.

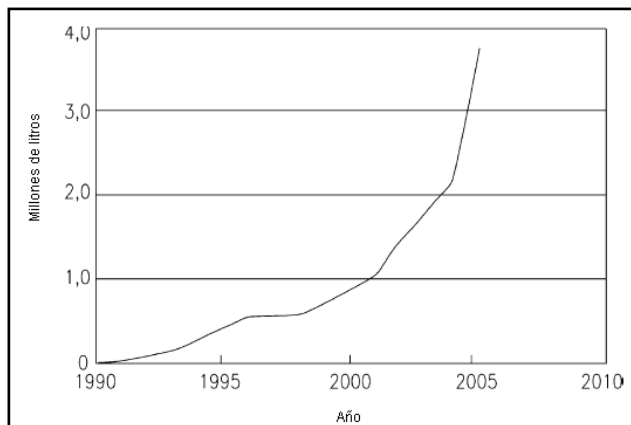


Figura 4.1 Producción de biodiesel a nivel mundial entre 1991 y 2005 (EPI, 2007)

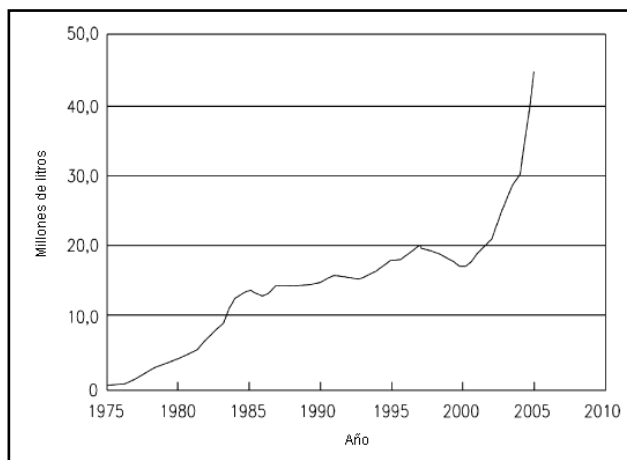


Figura 4.2 Producción de bioetanol a nivel mundial entre 1975 y 2005 (EPI, 2007)

La Tabla 4.1 muestra a los cinco productores más grandes a nivel mundial de bioetanol y biodiesel y las principales materias primas usadas para la producción de estos biocombustibles.

Casi toda la producción comercial de biodiesel ocurre en Europa, donde Alemania, Francia e Italia son los principales productores. Los países europeos producen más biodiesel que etanol, pero la producción total de ambos combustibles puede ser considerada pequeña en comparación con la producción de etanol en Brasil y los Estados Unidos.

**Tabla 4.1 Principales productores de bioetanol y biodiesel en 2005 (ET, 2007)**

Bioetanol			Biodiesel		
País	Millones de litros	Materia prima	País	Millones de litros	Materia prima
Brasil	16,489	Caña de azúcar	Alemania	1,919	Colza
Estados Unidos	16,217	Maíz	Francia	511	Soya
China	1.998	Maíz y trigo	Estados Unidos	291	Colza
Unión Europea	950	Remolacha dulce, trigo y sorgo	Italia	227	Colza
India	299	Caña de azúcar	Austria	83	Colza

Según datos proporcionados por IEA se espera que la participación de los biocombustibles en el sector transporte suba de 1 % hoy en día a valores cercanos al 7 % en 2030. Esto representa un alza equivalente de 15.5 mtpe (millones de toneladas de petróleo equivalente), en 2004, a 146.7 mtpe, en 2030. El alza más alta en el consumo de biocombustible ocurrirá en los Estados Unidos, Europa, Asia y Brasil. El alza en el consumo en otras regiones será moderada (Escobar y col., 2008).

#### 4.1 Tecnologías de conversión disponibles

Las rutas tecnológicas enfocadas a la fabricación de biocombustibles por lo general son clasificadas por los expertos en: Primera, segunda y tercera generación (Escobar y col., 2008).

##### 4.1.1 Leña

Durante los últimos años, los biocombustibles han recogido por todo el mundo intereses para su potencial para reducir emisiones de GEI, mejoran la seguridad de energía y mejoran el desarrollo rural. Al mismo tiempo, los informes sobre los gastos ambientales y sociales asociados con la producción de biocombustibles han removido una tormenta de controversias. Sin embargo, en términos de acontecimientos en curso en la selección de materia prima y tecnologías de producción que aún puede permitir a biocombustibles para realizar su promesa como una fuente viable de energía renovable (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

A nivel mundial aproximadamente 25 millones de personas usan leña como combustible para satisfacer sus necesidades energéticas. Por tanto, el uso desordenado de la leña afecta la existencia y calidad de las selvas y bosques (Pereira, 1997). La recolección de leña implica cada día más esfuerzo y se requiere recorrer mayores distancias para su obtención. En México a este fenómeno hay que aunar otro relativamente nuevo, el problema de “los sin tierras”, los cuales con el beneficio de leña empiezan a tener problemas, sean vecinados o no de las comunidades (Maser y Ordóñez, 1997).

Con el fin de entender todos los aspectos que involucra el tema de uso de leña en comunidades rurales, se ha enfatizado en el conocimiento y análisis de patrones de consumo,

preferencia, variedad y disponibilidad real de especies utilizadas. También se buscan alternativas conjuntas de ahorro de leña, mediante una experiencia demostrativa de construcción de diversos tipos de fogones mejorados, acordes con los modelos acostumbrados de cada región (Masera, 1995).

#### 4.1.1.1 Fogón tradicional

El fogón de tres piedras o fogón abierto es el de mayor uso en las comunidades rurales; y que la leña se usa en su totalidad para actividades de tipo doméstico: Cocción de alimentos, para hervir agua y para la calefacción. El rango promedio de distancias recorridas para la recolección de leña va de 0.3 a 12 Km, el tiempo invertido para la obtención de leña va de 20 minutos a 10 horas, con un promedio de 3.5 horas por día y con una recolección promedio de 19 kilos de madera. La leña se obtiene en mayor proporción de árboles muertos y en ocasiones de escasez, la obtención se combina con árboles vivos y sólo un porcentaje muy bajo de desmonte (Dutt, 1989). En términos generales, la obtención de leña implica el esfuerzo físico de campesinos y no la erogación de dinero. El trabajo de recolección lo efectúan en un 36% las mujeres, niños y niñas, y otros integrantes de la familia y en un 28% los hombres. En cuanto a transporte, 54% de las veces la leña la cargan las personas, 28% en bicicletas y en triciclos y 18% mixto (trabajo humano, con animales o bicicletas) (Reuter, 1998).

La cocina en México típicamente es realizada en fogones abiertos rodeados de tres piedras como se muestra en la Figura 4.3 y fogones abiertos en forma de U como se muestra en la Figura 4.4. Los fogones en forma de U son construidos en muchas regiones de México y típicamente son hechos de lodo o arcilla.

Aunque en cierta medida “encierra” el fuego en una especie de cámara de combustión, no poseen una chimenea y la combustión es incompleta y no es controlada, generando una gran cantidad de partículas y gases que son emitidos directamente en la cocina. En ambos casos la olla o el comal son colocados sobre las tres piedras o sobre la plataforma en forma de U y se tiene el fuego debajo de ellos. La eficiencia térmica típicamente oscila entre el 5 % y el 17 % (Dutt, 1987).



Figura 4.3 Fogón de tres piedras (Masera, 1995)



Figura 4.4 Fogón tipo U (Masera, 1995)

#### 4.1.1.2 Estufas Lorena

Las estufas Lorena tienen como característica principal su alta eficiencia, que permite reducir notablemente el consumo de leña para producir calor. Estas estufas representan una excelente alternativa para la mayoría de las comunidades rurales, e incluso para algunas colonias y barrios de las ciudades en donde sea difícil conseguir otros combustibles para cocinar.

Su nombre es un apócope de las palabras lodo y arena, cuya mezcla constituye el elemento básico de construcción como se muestra en la Figura 4.5. Consiste en un bloque de barro, con ductos y agujeros donde se colocan los utensilios para calentar la comida. Si se utiliza debidamente puede ahorrar entre 25% y 50% de la leña que requiere un fogón convencional (Masera, 1995).

##### *Principios de funcionamiento*

- \* La mezcla de lodo y arena que constituye el cuerpo de la estufa es un aislante térmico que evita la pérdida excesiva de calor. Una vez apagado el fuego es posible seguir cocinando gracias al calor que guarda en su interior.
- \* Las hornillas, colocadas a lo largo del túnel que atraviesa el cuerpo de la estufa, aprovechan el calor residual de la combustión, que en las estufas abiertas representa hasta un 80% de desperdicio.
- \* Los reguladores de tiro permiten controlar la entrada de aire a la cámara de combustión y su salida del túnel de conducción, lo cual mejora la calidad de la hoguera y permite un aprovechamiento máximo del aire caliente (Saatkamp, 2000).



Figura 4.5 Estufa Lorena (Masera, 1995)

#### 4.1.1.3 Estufas Patsari

El Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C. (GIRA) y el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) han desarrollado una cocina eficiente llamada "Patsari", que en la lengua Purepecha quiere decir "el que conserva", haciendo referencia al hecho de que el dispositivo "conserva" la salud de los usuarios, el ambiente y la economía. Patsari es un diseño mejorado de la estufa Lorena, se espera que se evite la emisión de 15 millones de toneladas de bióxido de carbono con el uso de estufas eficientes, meta para el 2012 en México (Masera, 2005). Aunque hay diferentes modelos, las estufas Patsari más eficientes son las construidas usando ladrillo y cemento, con un comal metálico integrado que es sellado con arcilla para evitar escapes de humo en la cocina, y una chimenea para expulsar el humo de la cocina. Las dimensiones externas de las estufas son de 80 cm de ancho y de 100 cm de longitud, con una altura de 27 cm. La estufa tiene una cámara de combustión principal de 20 cm de alto con un comal de metal de 52 cm de diámetro, ideal para calentar las tortillas como se muestra en la Figura 4.6 (Masera, 1995).



Figura 4.6 Estufa Patsari (Masera, 1995)

#### 4.1.2 Carbón

La tecnología denominada carboeléctrica para generar energía eléctrica, utiliza como combustible primario carbón para producir vapor de alta presión (entre 120 y 170 Kg/cm<sup>2</sup>) y alta temperatura (del orden de 520°C), el cual se conduce hasta las aspas o álabes de una turbina de vapor, haciéndola girar y al mismo tiempo hace girar el generador eléctrico que está acoplado al rotor de la turbina de vapor. Se fundamenta en el mismo principio que la tecnología conocida como Termoeléctrica de Tipo Vapor, que emplea combustóleo, gas o diesel como combustible, para hacer girar los generadores eléctricos, el único cambio importante es que las cenizas de los residuos de la combustión, requieren de varias maniobras y espacios muy grandes para su manejo y confinamiento.

Las centrales carboeléctricas prácticamente no difieren en cuanto a su concepción básica de las termoeléctricas de tipo vapor como se muestra en la Figura 4.7. El único cambio importante radica en el uso del carbón como combustible y en que las cenizas de los residuos de la combustión requieren de varias maniobras y espacios muy grandes para su manejo y confinamiento (CFE, 1992).

Las centrales de este tipo en México utilizan como combustible principal carbón importado, el cual es transportado en barcos graneleros tipo CAPESIZE con capacidad de hasta 150,000 Toneladas de Peso Muerto (TPM). También se utiliza combustóleo pesado como



combustible alternativo y diesel para los arranques, estos últimos se descargan desde buques-tanque tipo PANAMAX de 50,000 Toneladas de Peso Muerto de capacidad. Debido a que estas unidades generadoras cuentan con quemadores de combustible diseñados para poder quemar carbón y también combustóleo, se le denomina Central "Dual". La capacidad de estos patios es de 1'920,000 toneladas de carbón. El combustóleo se almacena en 4 tanques con capacidad de 34,600 m<sup>3</sup> cada uno.

En las instalaciones de esta Central se cuenta con seis unidades generadoras Carboeléctricas, en operación con una capacidad nominal de 350 MW cada una, haciendo una capacidad instalada total de 2,100 MW. Las fechas de entrada en operación comercial de sus unidades generadoras son las siguientes: U-1, noviembre 8 de 1993; U-2, diciembre 14 de 1993; U-3, octubre 16 de 1993; U-4, diciembre 21 de 1993; U-5, julio 27 de 1994 y U-6, noviembre 16 de 1994.

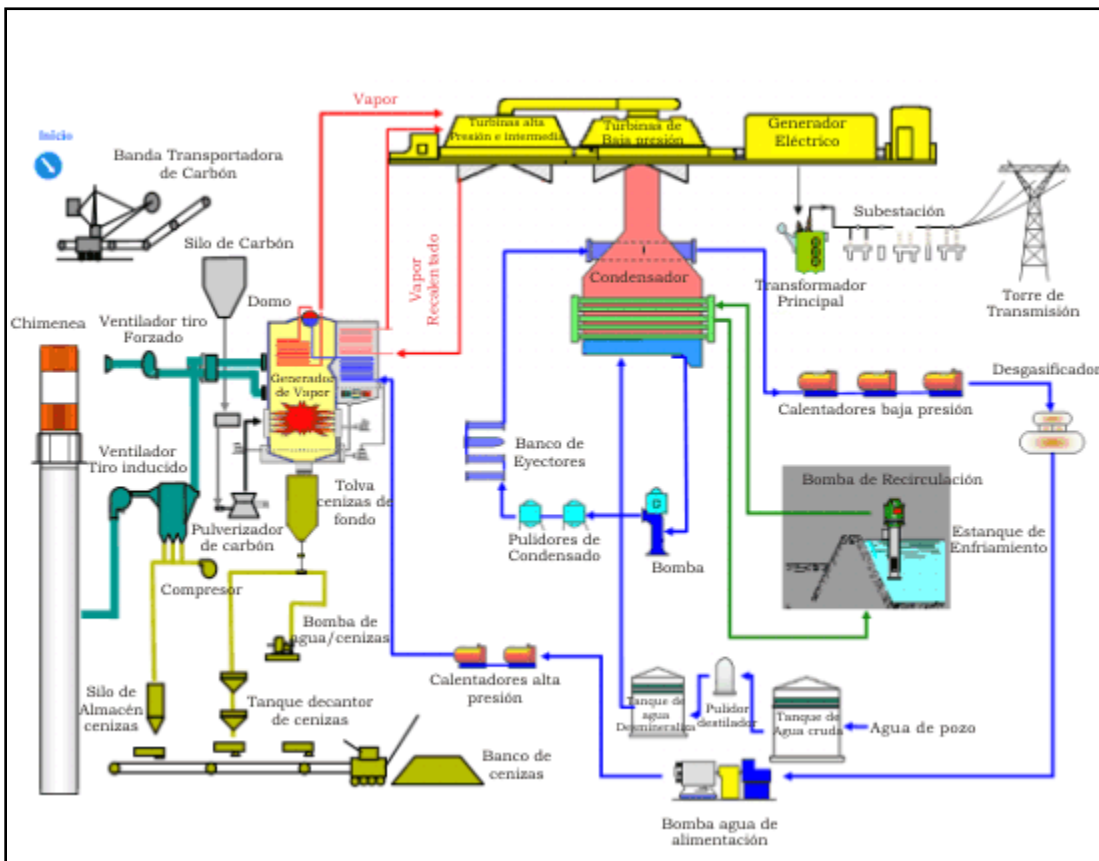


Figura 4.7 Esquema de una central carboeléctrica (CFE, 1992)

La energía eléctrica producida en la Central fluye a través de quince líneas de transmisión: cuatro de 400 kV (tres al Estado de Michoacán y una al Estado de México); siete de 230 kV (seis al Estado de Michoacán y una al Estado de Guerrero), cuatro de 115 kV (tres al Estado de Michoacán y una al Estado de Guerrero).

#### 4.1.3 Biodiesel

El biodiesel obtenido de aceite de plantas oleaginosas usa procesos de transesterificación o de rompimiento de los aceites vegetales para producir un combustible que puede ser usado por

motores. Aceites vegetales también pueden ser usados directamente como combustibles en motores hechos sobre diseño o modificados. La transesterificación puede usar ácidos alcalinos, catalizadores enzimáticos, etanol o metanol, y producir ácidos grasos y glicerina como residuos (Escobar y col., 2008).

Una de las ventajas de las empresas con la posibilidad de adquirir granos (ya sea parte de su producción propia o comprados) para la fabricación y autoabastecimiento de combustible, especialmente en épocas de crisis. Esta tecnología permite la fabricación de este combustible diesel a bajo costo.

El sistema más básico, Biodys-R50 (Figura 4.8) es un reactor semiprofesional que rinde 40 litros por lote, puede producir 300 litros de biodiesel por día.



**Figura 4.8 Equipo Biodys R50 para producir biodiesel (López, 2005)**

Para el funcionamiento de este tipo de equipos se requiere:

Opción 1:

- Aceite de soya refinado
- Potasa cáustica como catalizador - hidróxido de potasio - KOH
- Alcohol (etanol) Fino 98%

Opción 2:

- Aceite de soya u otros
- Metanol
- Sosa cáustica - hidróxido de Sodio - NaOH

Poseen un sistema anti-explosivo, que cumple normas ATEX de la Comunidad Europea, las cuales consisten en aplicar las medidas necesarias con el fin de evitar la posibilidad de

sobrecalentamientos o la aparición de arcos o chispas en el exterior sobre las partes externas del material eléctrico. Apagado automático. Construido según normas eléctricas de la Comunidad Europea.

Ocupa un área de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>. Emplea 220 VAC. Tienen un consumo de 2000 W por hora, se fabrican principalmente en Holanda. Su precio es de 1,450 euros.

El Biodys R50 está diseñado con seguridad y facilidad de uso. Es un reactor de 40 litros por lote de producción, reacción activa a 49°C, sedimentado pasivo de glicerina cruda, drenaje manual, purificación con agua y secado a temperatura ambiente o calentado. El tiempo de calentado de la mezcla antes de la reacción: 1 a 2 horas dependiendo del ambiente. Tiempo de reacción: 2-3 horas de mezcla activa. Tiempo de sedimentado: 24 horas, en forma pasiva. Secado: pasivo, al aire o calentado. Producción: 2,920 litros por año basado en un ciclo de producción de 5 días (López, 2005).

#### **4.1.4 Bioetanol**

El bioetanol, producido con materia orgánica con un alto contenido de azúcares, se logra por medio de la fermentación.

Al principio las materias primas son sometidas a un proceso donde el azúcar es separado. La fermentación procesa la levadura para convertir la glucosa en el etanol. La destilación y la deshidratación son usadas como los últimos pasos para alcanzar la concentración deseada: Etanol hidratado o anhídrido, que puede ser mezclado con la gasolina o usarse directamente como combustible en vehículos de combustible dual.

Cuando las materias primas usadas son granos, usualmente la hidrólisis es usada para convertir los almidones en glucosa. Considerando que la conversión del almidón en glucosa es mucho más fácil que convertirla en celulosa, la producción de etanol en los Estados Unidos está basada en el maíz y de trigo, cebada y remolacha en Europa. Los procesos convencionales usados para obtener etanol de granos sólo usan la parte que contiene el almidón. En este caso, sólo se usa el germen del maíz y de la cebada y esto representa un pequeño porcentaje de la masa total de la planta, generando una cantidad significativa de residuo de fibra.

Considerando que el maíz y otras materias primas de almidón usadas para la obtención de azúcares son una pequeña fracción de la biomasa que puede ser usada producir el etanol, es necesario desarrollar las tecnologías que permitan el uso de las nuevas fuentes de materias primas como la biomasa celulósica de las fibras vegetales que están presentes agricultura y actividades forestales, teniendo una eficiencia más alta que las tecnologías de primera generación (Escobar y col., 2008).

En México, se cultivan aproximadamente 50 millones de toneladas métricas de caña, para una producción de 5.8 millones toneladas de azúcar y 1.8 millones toneladas de melazas (zafra 2004/05); uno de cuyos destinos finales es precisamente la producción de alcoholes de distintas calidades. En años recientes, se instalaron en dos destilerías de ingenios azucareros, sendas columnas deshidratadoras, para la obtención de alcohol anhidro, mejor conocido como etanol, para uso como carburante asociado a las gasolinas convencionales.

La producción de etanol anhidro en nuestras destilerías, es bastante reciente y limitada. Los efluentes de la destilación “vinazas”, su producción es superior actualmente a 750 millones de

litros por año, cuyo destino principal es la ferti-irrigación de los cañaverales aledaños a los ingenios, dada la gran cantidad de materia orgánica y como fuente de potasio para el cultivo de la gramínea. Marginalmente se aprovechan como ingrediente de las raciones para alimento de ganado.

La tecnología de producción de alcohol, pudiera considerarse como tradicional, con grandes atrasos tecnológicos y sin recuperación ni de levadura, ni de CO<sub>2</sub>.

Normalmente, la producción se realiza coincidiendo con el período de zafra; aunque algunas plantas operan durante el receso, con dependencia absoluta del hidrocarburo para satisfacer la demanda de energía, con mayores costos asociados.

La viabilidad económica de la producción de etanol anhidro en nuestro país, depende de varios aspectos a considerar:

- Costo de la materia prima a emplear
- Autosuficiencia energética, a partir del bagazo de la caña. Cero petróleo
- Economía de escala (mayor tamaño de las destilerías)
- Incorporación de la Cogeneración, con entrega de electricidad a la red pública en el ingenio
- Introducción de la biotecnología para mejorar los procesos de fermentación
- Subsidios a la agricultura (producción de caña destinada para etanol y/o exportación de azúcar al mercado mundial)

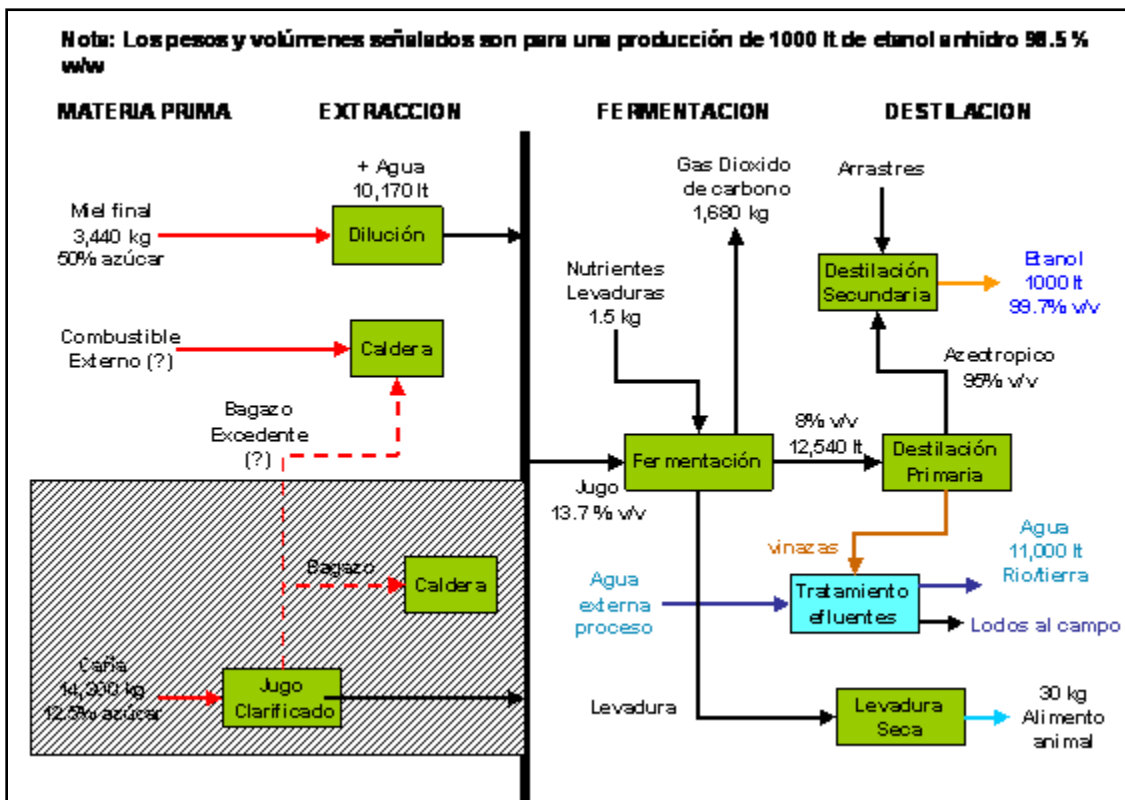


Figura 4.9 Esquema del proceso tradicional de producción de etanol (Enríquez, 2005)

En otros aspectos, deberá exigírsele al Gobierno Federal, la fijación de un arancel efectivo a las importaciones de alcoholes; para evitar la elusión a través de otras fracciones arancelarias. La Figura 4.9 muestra el proceso tradicional de producción de etanol en destilerías de México, mientras que la Figura 4.10 muestra una vista de una destilería (Enríquez, 2005).



Figura 4.10 Vista de una destilería (Enríquez, 2005)

## 4.2 Proyectos en marcha en México y financiamientos

### 4.2.1 Leña

#### *Promoción de las estufas ahorradoras*

Los objetivos de esta propuesta se han derivado de la Línea Mujer, Salud y Medio Ambiente y se pueden enumerar como sigue:

- a. El mejoramiento de la salud de mujeres y niñas por la exposición constante a la combustión de la leña, reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y oftálmicas
- b. Reducción de accidentes caseros producidos por el fogón tradicional o de tres piedras, en los miembros más pequeños de la familia
- c. La reducción en el consumo de leña de hasta el 60 %
- d. Reducción del impacto a las zonas forestales compactas
- e. Mejoramiento a la vivienda, reduciendo el hollín al interior de la cocina

A partir de estos objetivos generales se han derivado algunos beneficios adicionales, por lo que esta propuesta fue considerada como una línea de trabajo que podría realizarse de manera independiente. Estos beneficios son:

1. Reducción de jornales en la búsqueda y corte de leña
2. Reducción de tiempo dedicado a cocinar, pues con el modelo propuesto
3. Se pueden cocinar tres cosas al mismo tiempo

Un amplio sector de interesados en los recursos naturales ha considerado reiteradamente que la extracción de leña es causante de la deforestación. En estudios de caso realizados en los

últimos diez años se presentan elementos que indican que es poco probable que esta actividad esté provocando la pérdida de masas forestales. Esto es porque la leña se obtiene principalmente del corte de ramas y de árboles muertos, provenientes mayormente de formaciones vegetales antropizadas. Sin embargo en esos estudios no se evaluó la disponibilidad física de los recursos leñeros, por lo que no son concluyentes en cuanto al impacto ambiental causado por la extracción de leña (Arias, 1997).

En México se han llevado a cabo varios programas de dendroenergía por diferentes instituciones gubernamentales y diversas organizaciones civiles, que han incluido la promoción del uso de dispositivos ahorradores de leña. Sin embargo, la evaluación del desempeño de los dispositivos de combustión, conocidos más comúnmente como estufas Lorena o estufas mejoradas, ha sido tradicionalmente una actividad poco atendida en los diversos programas de introducción a este tipo de tecnologías, debido a dos razones fundamentales: La evaluación tiene un costo complementario y el análisis conlleva a un ejercicio de autocrítica. Tales procesos son difíciles de ejecutar y en general, no son considerados en las administraciones gubernamentales las cuales, trabajan por metas y no por impactos reales, menos aún si éstos son sociales. Esta situación ha favorecido la reproducción de errores y vicios que le restan eficiencia y efectividad a los esfuerzos por atender a la población rural, además, ha impedido detectar los éxitos, virtudes y puntos fuertes, que sin duda, todos los programas pudieron aportar en su operación. A esto hay que añadir que el trabajo de la población a la cual va dirigido este tipo de acciones, mujeres campesinas e indígenas, no ha sido reconocido. Más preocupante aún es la ausencia de una metodología participativa para sensibilizar y concientizar a los usuarios de leña, sobre las consecuencias de consumo y las bondades de la construcción de estufas ahorradoras y otras actividades que ayuden a dar soluciones locales al problema (Díaz y Masera, 2000).

#### **4.2.2 Biogás**

Actualmente en México la implementación de proyectos de biogás están enfocados a la utilización de rellenos sanitarios para obtenerlo, además de las granjas porcícolas y el uso de biodigestores en las zonas rurales (RMB, 2005). A continuación se mencionan los proyectos más destacados enfocados en la obtención de biogás para usarlo en quemadores para obtener energía eléctrica:

1. La SEMARNAT promueve una serie de proyectos en conjunto con el Mecanismo de Desarrollo Limpio, principalmente basados en la producción de metano en granjas porcícolas, rellenos sanitarios y manejo de aguas residuales, la Tabla 4.2 muestra los datos (SEMARNAT, 2008).
2. Proyecto de biogás de relleno sanitario en Nuevo León (BENLESA): El Proyecto de biogás de Nuevo León representa la primera experiencia a nivel nacional sobre el aprovechamiento del biogás emitido por la basura dispuesta en rellenos sanitarios, para la generación de 52 GWh de energía eléctrica y la mitigación de emisiones de 34 m<sup>3</sup>/min de metano. Algunos objetivos específicos de este proyecto son demostrar esta tecnología y que sirva de modelo para reproducirlo en otras ciudades de México y América Latina. La planta fue diseñada con tecnología de punta en forma modular para facilitar su instalación, operación, mantenimiento y flexibilidad para futuros incrementos de capacidad. Comprende dos sistemas principales: El primero es una red de captación de biogás y que se ha estimado proveerá materia prima para operar la planta al menos 20 años. El segundo sistema corresponde a la central de producción

de energía eléctrica compuesta por 7 motogeneradores de 1.06 MW cada uno y 7 transformadores de 1,250 kVA (RMB, 2006).

**Tabla 4.2 Proyectos mexicanos de biogás del MDL con cartas de aprobación hasta 2008 (SEMARNAT, 2008).**

Tipo de proyectos	Núm. Proyectos	Ubicación	Reducción de CO <sub>2</sub> equivalente [KTons/año]
Manejo de residuos en granjas porcícolas	88	AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.L.P., SON., OAX., TAMPS., VER., YUC.	2,507
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	55	AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN., TLAX.	983
Metano de rellenos sanitarios	14	AGS., B.C., CHIH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MOR., N.L., SIN., YUC.	1968
Manejo de aguas residuales	3	SON., OAX., PUE.	36
<b>Total</b>	<b>160</b>	<b>-</b>	<b>5,494</b>

- Proyecto de biogás de relleno sanitario en Nuevo León (BENLESA): El Proyecto de biogás de Nuevo León representa la primera experiencia a nivel nacional sobre el aprovechamiento del biogás emitido por la basura dispuesta en rellenos sanitarios, para la generación de 52 GWh de energía eléctrica y la mitigación de emisiones de 34 m<sup>3</sup>/min de metano. Algunos objetivos específicos de este proyecto son demostrar esta tecnología y que sirva de modelo para reproducirlo en otras ciudades de México y América Latina. La planta fue diseñada con tecnología de punta en forma modular para facilitar su instalación, operación, mantenimiento y flexibilidad para futuros incrementos de capacidad. Comprende dos sistemas principales: El primero es una red de captación de biogás y que se ha estimado proveerá materia prima para operar la planta al menos 20 años. El segundo sistema corresponde a la central de producción de energía eléctrica compuesta por 7 motogeneradores de 1.06 MW cada uno y 7 transformadores de 1,250 kVA (RMB, 2006).

Dentro de los financiamientos existen para este biocombustible en México destacan los proyectos del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), entre ellos el Proyecto de Apoyo a la Generación y Aprovechamiento de Biogás en Explotaciones Pecuarias, que tiene por objetivo Utilizar los desechos de granjas porcinas y establos lecheros, con el fin de generar biogás para su

aprovechamiento en la producción de energía eléctrica y térmica en las unidades productivas, reducir las emisiones de GEI y la contaminación ambiental. Conjuntamente con la Coordinación General de Ganadería, se detectó la posibilidad de implementar Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) con la instalación de 40 biodigestores en Sonora, Jalisco o Comarca lagunera. Se apoyarán con 60 Moto-generadores para producir electricidad de autoconsumo (FIRCO, 2007).

Otro proyecto de financiamiento destacable es el Programa de acción climática de la ciudad de México 2008-2012, que tiene programado dar apoyo a la Reducción de emisiones provenientes de sistemas sépticos en el DF, ya que se plantea la construcción y provisión de drenajes y servicio de saneamiento, respectivamente, en las áreas en donde se pueda tener la mejor relación costo beneficio y reducir emisiones de metano esperado evitar la emisión de 1,500 ton equiv. de CO<sub>2</sub> por año, también la construcción de una planta de producción de composta en la Central de Abastos del DF, la captura y aprovechamiento de biogás proveniente del relleno sanitario bordo poniente, ambos proyectos esperan poder evitar emitir 1,570,500 ton de CO<sub>2</sub> al año (GDF, 2008).

#### 4.2.3 Bioetanol

El etanol puede ser producido de cualquier material orgánico de origen biológico que contenga cantidades considerables de azúcares y materiales que puedan ser convertidos en azúcar como el almidón o la celulosa. La caña de azúcar, la remolacha y el sorgo son los ejemplos de materia prima que contienen azúcar y, que por lo tanto, pueden ser usados para la producción de etanol.

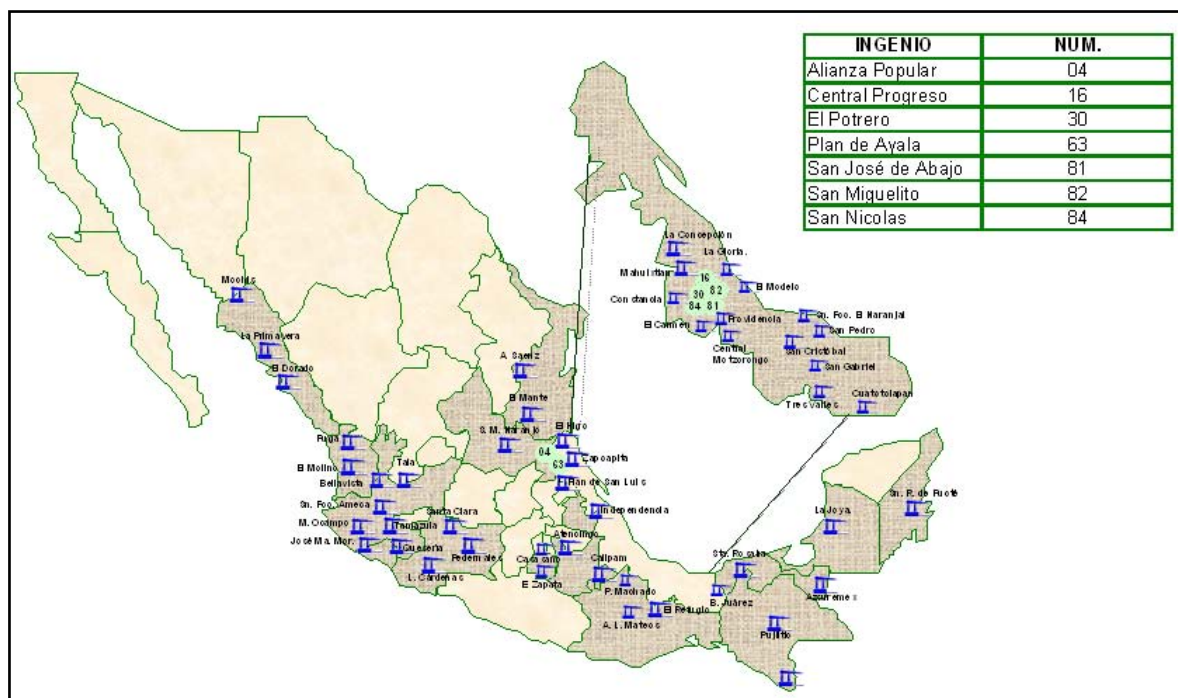
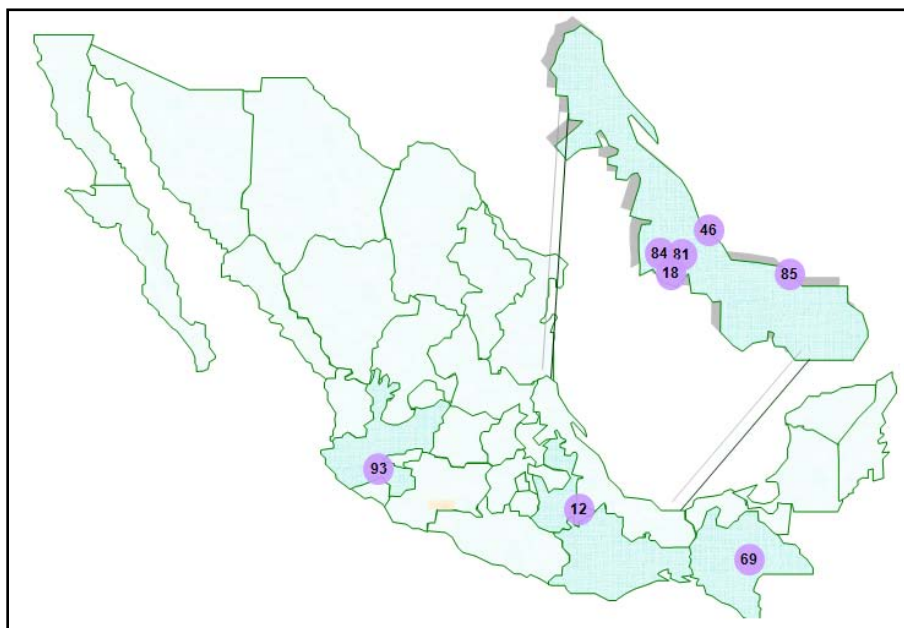


Figura 4.11 Ubicación de los ingenios azucareros en México (Enríquez, 2007)



El trigo, la cebada y el maíz son también materia prima que contienen almidón, que puede ser convertido fácilmente en azúcar usando las tecnologías disponibles. Una parte significativa de la madera de árboles y hierbas están compuestos por celulosa, que también puede ser convertida en azúcar, pero el proceso es más complicado que el que requerido para el almidón (Escobar y col., 2008).

Actualmente en México la implementación de proyectos de bioetanol están enfocados a la utilización caña para obtenerlo, de acuerdo con Manuel Enríquez Poy existen alrededor de 60 ingenios azucareros en el país (Figura 4.11), pero solo 8 de ellos cuentan con una destilería que pudiera ser usada para producir etanol (Figura 4.12). Grandes corporativos son los encargados de dirigir estos proyectos, usando los cultivos mexicanos para la producción de bioetanol y exportándolo.



**Figura 4.12 Ingenios que poseen una destilería en México (Enríquez, 2007)**

A continuación se mencionan los proyectos más destacados enfocados en la obtención de bioetanol:

1. Según información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y de gobiernos estatales, en México existen 19 proyectos de plantas de etanol, dos comenzarán a funcionar antes de que termine el año 2007. El 12 de octubre 2007, Zucarmex y Mexstarch formalizaron con la Secretaría de Agricultura un contrato para la provisión de las dos primeras plantas de producción de etanol en el país, a las que se vincularán 2,500 productores de maíz y sorgo. Mexstarch comenzará a producir a finales del 2007 con una capacidad de 15 millones de galones, mientras que la planta de Zucarmex, en Sinaloa, producirá el doble desde mediados de 2008. Sin embargo, para que estos proyectos empiecen a operar va a ser necesario que el Senado apruebe la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Según el Gobierno de Veracruz, en el primer semestre de 2008 estarán funcionando las primeras tres plantas (dos en Veracruz y una en Guerrero) de las 19 previstas. Cada una requerirá una inversión de 125 millones de

dólares. El Gobierno de Morelos, por su parte, también anunció que un grupo de inversionistas está interesado en construir una planta similar en ese estado. Jorge Morales Barud, Secretario de Desarrollo Agropecuario dijo "se trabaja en un proyecto ejecutivo, con la participación de especialistas, profesionales, investigadores y productores. Hay interés de empresarios por invertir en el agro morelense para concretar la instalación de una planta de etanol". Agregó que no se puede precisar el costo que representa instalar una planta de ese tipo, que depende de los cultivos de maíz, sorgo o caña de azúcar, aunque el caso de Sinaloa sirve como referencia, y oscila entre los 30 a 40 millones de dólares (ADN, 2008a).

2. México iniciará la producción de etanol en 2010: En el año 2010, México ingresará a la época de la producción de etanol y el estado de Jalisco se pondrá a la vanguardia, porque será el primer estado de la República donde se empiece a consumir este combustible en el parque vehicular de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Al presidir la Tercera Sesión Extraordinaria del Consejo Estatal de Desarrollo Rural Sustentable de Jalisco, el titular de la SAGARPA destacó que este estado ya tienen una meta clara hacia el 2010 cuando inicie la producción y consumo de etanol y precisamente la zona metropolitana de Guadalajara fue la que autorizaron Pemex y las secretarías de Energía y de Medio Ambiente para que sea la primera en consumir este tipo de combustible en sus vehículos. Alberto Cárdenas Jiménez adelantó que con la producción de etanol, México ingresa por primera vez en su historia al Programa de Bioenergía. A la fecha, agregó, ya se tienen 31 proyectos a nivel nacional para la producción de etanol y biodiesel, se tienen, inclusive, proyectos vanguardistas con la incorporación de productos como la higuera y la jatropha como insumos para los biocombustibles (SAGARPA, 2005).
3. Impulsan los proyectos de etanol en Tamaulipas: Con la instalación de la planta de etanol en la región agrícola de Mante, el Gobierno del Estado impulsará la reconversión de cultivos alternativos a caña de azúcar en 22 mil nuevas hectáreas que abastecerán de materia prima a esta empresa productora del bioenergético. Es una superficie del Distrito de Riego 092 Las Ánimas de los municipios Mante y González, reconvertidas a caña de azúcar que actualmente se encuentran destinadas a la producción de maíz, sorgo y ganadería, donde se buscará se garantice al productor una actividad más rentable con la eminente instalación de esta planta. Tamaulipas cuenta en esta zona agrícola con una superficie de 55 mil hectáreas dedicadas a este cultivo que generan una producción anual de 2.9 millones de toneladas de caña de azúcar que son procesadas en los ingenios de Mante, Xicoténcatl y San Miguel del Naranjo (ADN, 2008b).

Dentro de los financiamientos existen para este biocombustible en México destacan los proyectos de empresas de Estados Unidos de América, Brasil, China, Argentina, Canadá y la Unión Europea que llevan a cabo dentro de nuestro país, para la obtención de bioetanol a partir de caña de azúcar, yuca y maíz, lamentablemente existe una carencia de apoyo por parte del gobierno para la producción de este biocombustible debido a que México aún no cuenta con un mercado competitivo para la producción y consumo de etanol, y solo algunas empresas privadas y bancos del país brindan apoyo a estos proyectos dirigidos por empresas extranjeras.

#### **4.2.4 Biodiesel**

Básicamente el biodiesel puede ser obtenido de aceites y grasas que provengan de:

- Plantas oleaginosas: Ricino, palma africana, soya, semilla de colza, girasol, semillas de cardo (*Jatropha curcas*), etc.
- Aceites vegetales usados: Provenientes de restaurantes e industrias hoteleras y casas
- Grasas animales: Provenientes de mataderos

Se observa que la producción de biocombustibles está principalmente basada en la materia prima de agricultura y, por lo tanto, muchos países fácilmente pueden producirlos logrando varias ventajas como tener una gran seguridad energética, diversificación de fuentes de energía y agricultura y un desarrollo acelerado en las áreas rurales con el aumento de trabajo en estas áreas. Además, los países que producen una gran cantidad de biomasa por lo general no son países que producen combustible fósil. Por consiguiente, nuevos países entrarán en el mercado de energía global, lo que reduciría la dependencia de los pocos países que tienen reservas de petróleo.

**Tabla 4.3 Requerimientos agro-climáticos de materia prima para obtención de biodiesel (Yáñez y col., 2008)**

Tipo de cosecha	Suelo	Riego	Requerimiento de nutrientes	Clima
<b>Maíz</b>	Bien aireado y con buen drenaje	Uso eficiente del agua	Alta fertilidad	Tropical
<b>Aceite de palma</b>	Buen drenaje, pH entre 4 y 7, superficie plana, rica y profunda	Lluvia uniforme: Entre 1800 y 5000 mm por año	Bajos	Tropical y subtropical con temperaturas entre 35 y 32 °C
<b>Semilla de colza</b>	Suave, fangoso, textura media y con buen drenaje	Precipitación pluvial mínima de 600 mm por año	Altos	Sensible a altas temperaturas, mejor crecimiento entre 15 y 20 °C
<b>Trigo</b>	Textura media	Alta demanda	Alto contenido	Moderado
<b>Ricino</b>	pH entre 5 y 6.5	Al menos 400 mm de lluvia en el periodo de madurez	Demanda razonable de nitrógeno, potasio, fosforo, calcio y magnesio	Tropical con temperaturas entre 20 y 30 °C
<b>Soya</b>	Suelo aluvión, con buena cantidad de materia orgánica y buena estructura	Alto	Óptimos con un pH entre 6 y 6.5	Tropical, subtropical y clima moderado
<b>Remolacha dulce</b>	Tolerante a la salinidad, bien drenado y de textura suave	Lluvias entre 550 y 750 mm	Alta demanda de fertilizantes	Moderado
<b>Caña de azúcar</b>	Bien aireado	Grandes lluvias durante toda la temporada	Altos contenidos de nitrógeno y potasio	Tropical y subtropical
<b>Jatropha curcas</b>	Semiárido	Al menos 400 mm de lluvia durante el año	Bajo	Temperaturas alrededor de los 20 °C

Es importante observar que no todos los países poseen las condiciones climatológicas, topográficas, edafológicas y otras condiciones que son necesarias para la producción de biocombustible a gran escala, dado que la viabilidad económica de estos combustibles dependen de las cosechas usadas para su logro y eficiencia, como se muestra en la Tabla 4.3 (Escobar y col., 2008).

Actualmente en México la implementación de proyectos de biodiesel están enfocados a la utilización aceites vegetales para obtenerlo, México tiene aproximadamente una producción de 600 m<sup>3</sup>/mes. Grandes corporativos son los encargados de dirigir estos proyectos, usando los cultivos mexicanos para la producción de biodiesel y exportándolo. A continuación se mencionan los proyectos más destacados enfocados en la obtención de biodiesel:

1. En agosto de 2007 operará primera planta de biodiesel en México: La fábrica está ubicada en el Parque de la Pequeña y Mediana Industria de Lázaro Cárdenas, Michoacán. La capacidad de producción inicial será de ocho mil toneladas anuales de combustible, que incrementará progresivamente para atender la demanda de clientes como Petróleos Mexicanos (PEMEX) y los sectores automotriz y de autotransporte. El proyecto responde al interés de generar empleos en la entidad y a la necesidad de encontrar alternativas al consumo de combustibles fósiles. El país registra una dependencia del exterior en cuanto al abasto de granos básicos, lo que se complica porque también enfrenta el dilema de decidir si destina los aceites vegetales al consumo humano o a la elaboración de biocombustibles. La planta de biodiesel es un proyecto en el que también participa la empresa automotriz Daimler Chrysler, y que en su primera etapa generará 50 empleos directos, y más tarde, mil nuevas plazas de trabajo (BCE, 2007).
2. Producen biodiesel con desperdicios de cocina en México: Los investigadores de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, descubrieron un tipo de combustible que no produce contaminantes, tiene un costo muy económico y un alto rendimiento. Este equipo de científicos logró transformar los desperdicios de los restaurantes en biodiesel. Para estos negocios, la basura es un gran problema porque son altamente contaminantes, especialmente el aceite quemado en donde se cocinan los alimentos. Para lograr el descubrimiento se realizó un acuerdo con una cadena de restaurantes especializada en la comercialización de papas y pollo frito. Utilizaron parte de sus residuos para realizar las pruebas de laboratorio. Tras varios ensayos, lograron producir un tipo de biodiesel que prácticamente no tiene contaminantes. Según dicho centro de investigación, para los automóviles este biodiesel tiene el mismo rendimiento que el diesel derivado del petróleo. Pero con algunas ventajas, como que reduce los daños al motor y que no se necesita realizar reformas al auto. También existe la posibilidad de obtener el mismo tipo de biocombustible utilizando como base algunos derivados de la palma africana. Chiapas es uno de los principales productores en México (PNUMA, 2006).

Dentro de los financiamientos existen para este biocombustible en México destacan los proyectos de empresas extranjeras, en su mayoría empresas dedicadas a la producción de biodiesel a base de semillas oleaginosas como Dharma y de empresas del sector automotriz entre ellas Chrysler. Escasos esfuerzo son realizados por instituciones del gobierno (SAGARPA) entre ellas. Cabe destacar que la falta de apoyo para la producción de biodiesel se debe a que en México no se cuenta con un mercado para el uso y distribución de este combustible.

### 4.3 Tierras de cultivo necesarias para la producción de biocombustibles

Según la FAO la cantidad de tierra usada para la agricultura a nivel mundial y la producción de alimentos es de 1500 millones de hectáreas aproximadamente, que representan el 11 % de la superficie de la tierra. Además, 2800 millones de hectáreas tienen el potencial para ser usado. Sin embargo, parte de esta superficie no está disponible o está destinada a otro uso. Casi el 45% es cubierto por bosques, el 12 % corresponde a áreas protegidas y el 3 % es ocupado por establecimientos humanos. América Latina, el Caribe y parte del Sahara tiene las longitudes más grandes de superficies de tierra disponibles.

Se espera que el etanol sea el biocombustible de mayor uso en todo el mundo, porque su costo de producción debe disminuir más rápido que los costos de biodiesel. También es posible observar que el comercio de biocombustibles aumenta, pero su contribución hacia el suministro de energía mundial sigue siendo pequeña.

La Tabla 4.4 muestra un pronóstico del consumo de biocombustibles en el sector transporte en diferentes regiones del mundo.

**Tala 4.4 Proyección del consumo de biocombustibles en el sector transporte (IEA, 2007)**

Región	2004		2030	
	Demanda (MTPE)	% Transporte de carretera	Demanda (MTPE)	% Transporte de carretera
<b>OCDE</b>	8.9	0.9	84.2	7.2
<b>Norteamérica</b>	7.0	1.1	45.7	6.4
<b>Estados Unidos</b>	6.8	1.3	42.9	7.3
<b>Europa</b>	2.0	0.7	35.6	11.8
<b>Oceanía</b>	0.0	0.0	2.9	1.9
<b>Economías en transición</b>	0.0	0.0	0.5	0.6
<b>Países desarrollados</b>	6.5	1.5	62.0	6.9
<b>China</b>	0.0	0.0	13.0	4.5
<b>India</b>	0.0	0.0	4.5	8.0
<b>Otros países desarrollados de Asia</b>	0.1	0.0	21.5	4.6
<b>Brasil</b>	6.4	13.7	23.0	30.2
<b>Nivel mundial</b>	15.5	1.0	146.7	6.8
<b>Unión Europea</b>	2.0	0.7	35.6	11.8

Hoy aproximadamente 14 millones de hectáreas de tierras de cultivo son usados para la producción de biocombustibles, que representan aproximadamente el 1 % de la tierra entera cultivada en el mundo.

En el caso de Brasil, las cosechas de caña de azúcar ocupan un área de 6.2 millones de hectáreas. Otros 200 millones de hectáreas corresponden a pastizales. La productividad gano alrededor de 20% en el uso de pastizales, con lo cual habría 40 millones de hectáreas disponibles para la extensión de cosechas de caña de azúcar. Para satisfacer la exigencia a nivel mundial de añadir 5 % de alcohol a la gasolina, sería necesario un poco más de 10 millones de hectáreas.

En el caso del biodiesel la demanda de tierra es más alta, principalmente porque la producción promedio de las materias primas usadas para fabricar biodiesel es inferior que en el caso del bioetanol, como se muestra en la Figura 4.13.

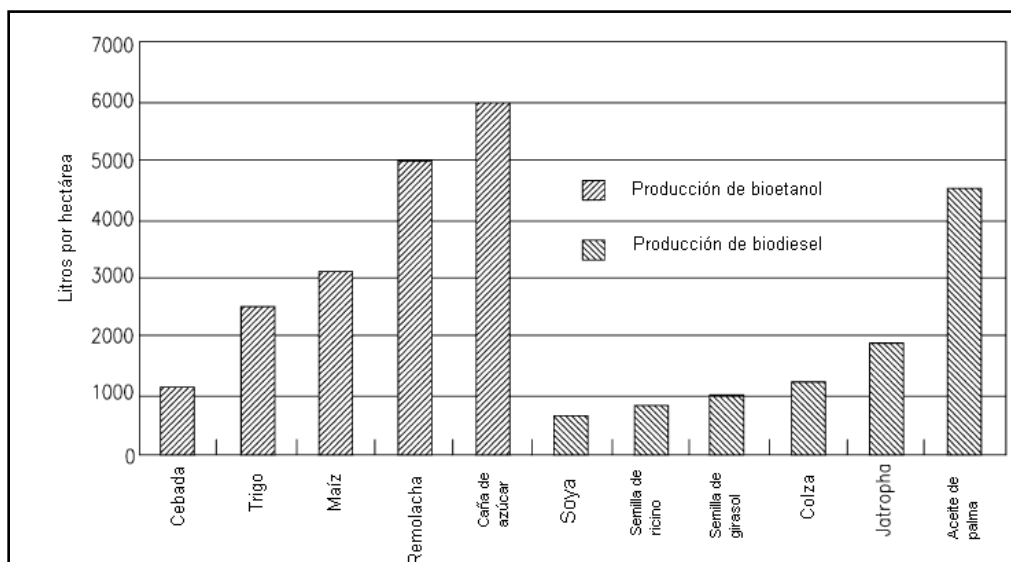


Figura 4.13 Producción por hectárea de diferentes materias primas usadas para obtener bioetanol y biodiesel (ET, 2007)

Otro aspecto importante en cuanto al cultivo de materia prima y producción de biocombustibles es la producción de energía (GJ/ha), que podría ser expresado también en toneladas de petróleo por hectárea. Estos índices permiten tener referencias en relación con el reemplazo potencial de un combustible fósil dado (tpe/ha), así como la posibilidad de extensión de cada una de las materias primas usadas hoy en día (Escobar y col., 2008).

#### 4.4 Los biocombustibles, el medio ambiente y análisis de ciclo de vida

Entre 1970 y 2004, las emisiones globales de GEI aumentaron en un 70 %. Una solución propuesta para reducir los crecientes niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico es “descarbonizar” la producción de energía substituyendo combustibles fósiles con biocombustibles. En su análisis más simple, los biocombustibles se consideran neutros porque todo el CO<sub>2</sub> liberado durante su combustión es compensado por la fijación de carbón durante el crecimiento de una planta, la Figura.14 muestra el análisis de ciclo de vida del biodiesel, la Figura.15 muestra el análisis de ciclo de vida del bioetanol y la Figura.16 muestra el análisis de ciclo de vida del biogás.

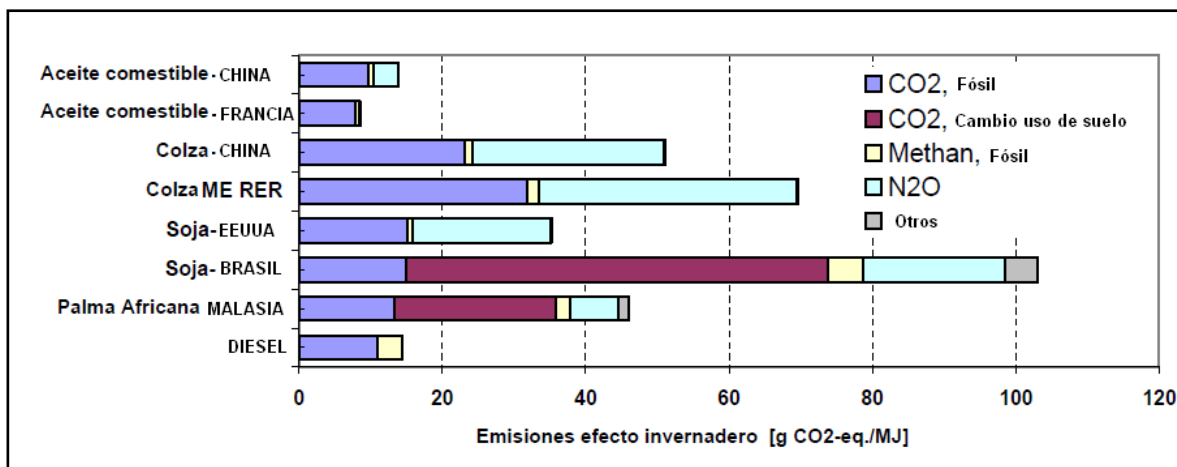


Figura.14 Análisis de ciclo de vida para el biodiesel (Heinz, 2007)

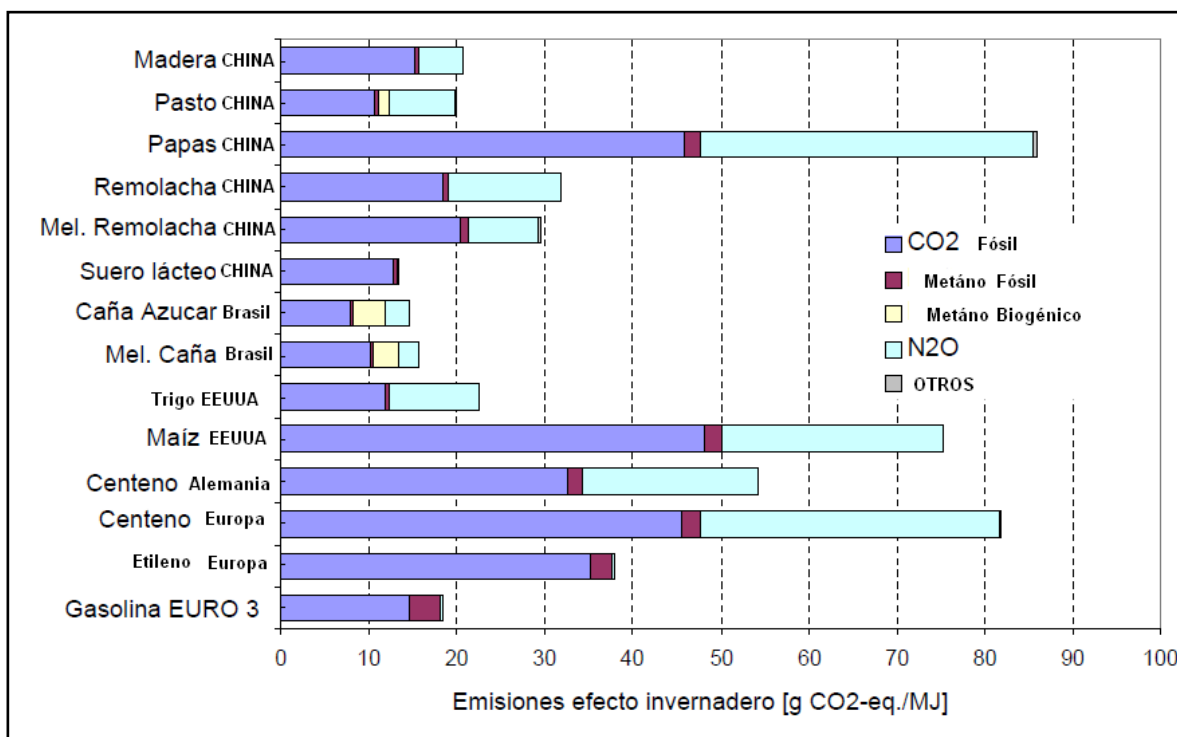


Figura.15 Análisis de ciclo de vida para el bioetanol (Heinz, 2007)

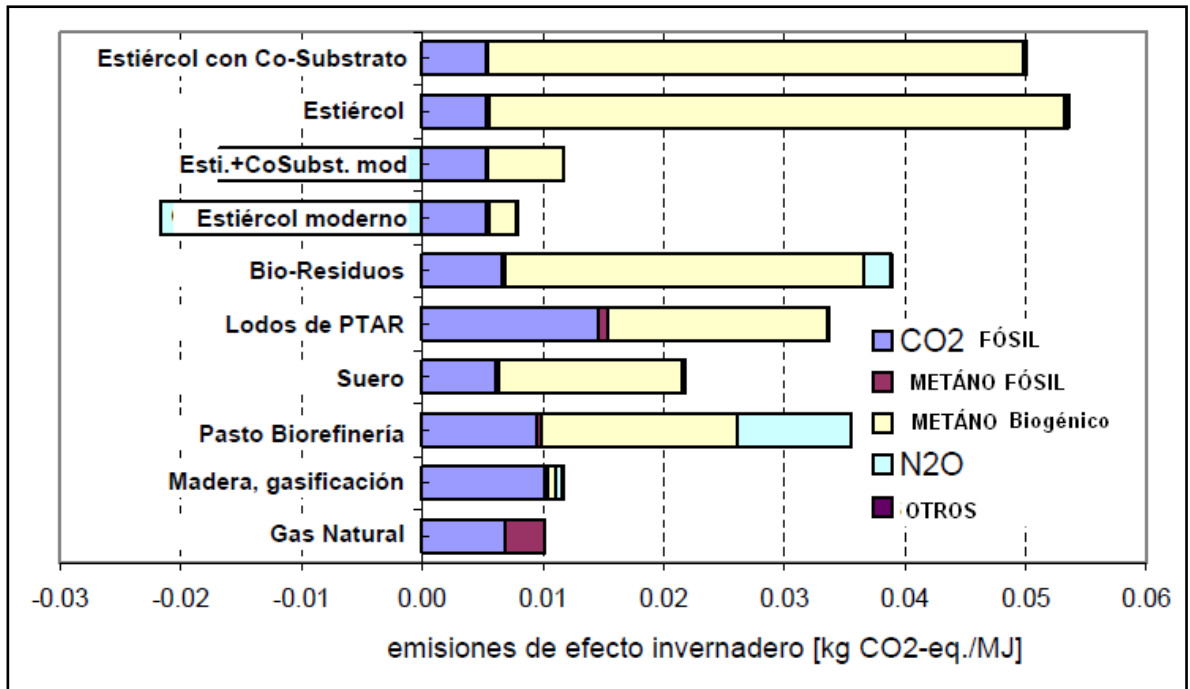


Figura.16 Análisis de ciclo de vida para el biogás (Heinz, 2007)

Estudios realizados durante los últimos 15 años muestran que el desplazamiento de gasolina o diesel por biocombustibles puede causar reducciones en las emisiones de GEI, 31 % para bioetanol, 54 % para biodiesel y el 71 % para etanol celulósico, como se muestra en la Figura 4.17. La producción de bioetanol empleando caña de azúcar como materia prima genera ahorros mucho más grandes. El desarrollo eficiente y rentable de etanol celulósico a gran escala tiene un potencial inmenso pero aún no ha atraído inversiones por parte de la industria privada.

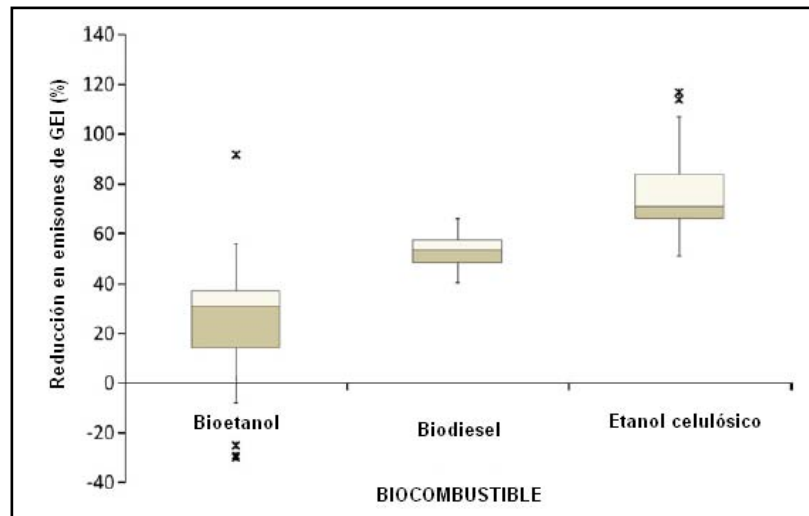


Figura 4.17 Estimación neta de la reducción de emisión de GEI usando bioetanol y biodiesel (Pin Koh y Ghazoul, 2008)



Sin embargo, el beneficio neto del uso de biocombustibles en términos de evitar emitir gases efecto invernadero solo puede ser determinado mediante un análisis de ciclo de vida (ACV). Estudios realizados durante los últimos 15 años muestran que el reemplazo de gasolina y diesel por biocombustibles tiene una reducción neta de emisión de GEI de 31% para bioetanol, 54% para biodiesel y 71% para etanol celulósico. En la producción de bioetanol, el uso de caña de azúcar como materia prima tiene como resultado el evitar emitir grandes cantidades de GEI, más que cualquier fuente de biodiesel, como se muestra en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5 Estimación de los precios de diferentes biocombustibles en el presente y el en futuro (Pin Koh y Ghazoul, 2008)**

Combustible	Precio (Centavos de USD/litro)	
	Actual	2030
Gasolina	91	-
Diesel	105	-
Bioetanol de caña de azúcar	25-50	25-35
Bioetanol de maíz	60-80	35-55
Bioetanol de remolacha	60-80	40-60
Bioetanol de de trigo	70-95	45-65
Bioetanol de biomasa celulósica	80-110	25-65
Biodiesel de grasas animales	40-55	40-50
Biodiesel de aceites vegetales	70-100	40-75
Combustibles sintéticos	90-110	70-85

Mientras la producción industrial de etanol celulósico no es aún una realidad, se piensa que acontecimientos dados recientemente la comercialización será una realidad la próxima década. Otro factor clave que influye para poder equilibrar los GEI es el tipo de energía de proceso usada durante varias etapas de producción de biocombustible, por ejemplo, impulsar tractores de granja con gas natural en lugar de diesel libera menos GEI (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

Los biocombustibles han sido vistos por muchas personas como una forma de limpiar las necesidades de energía en el sector de transporte. Los biocombustibles muestran sus ventajas ambientales durante la combustión en los motores, dado que sus emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden a la cantidad que fue tomada de la atmósfera durante el crecimiento de estas plantas, causando un ciclo cerrado de carbón, la Figura 4.18 muestra el ciclo del carbón para los biocombustibles.

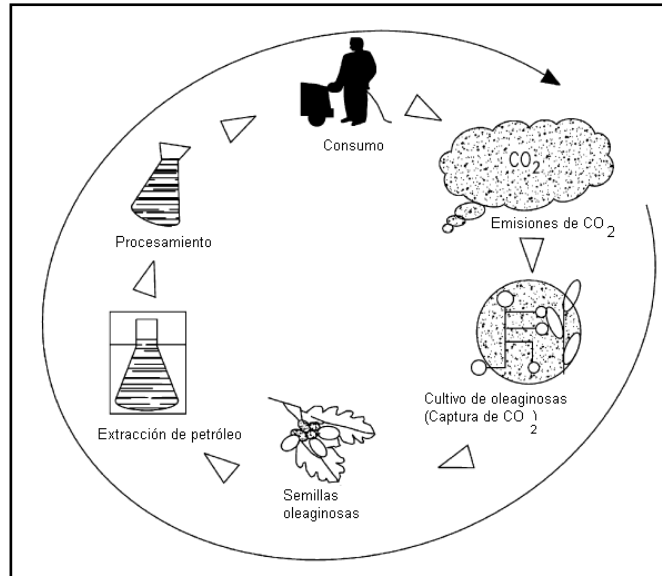


Figura 4.18 Ciclo cerrado de carbono (Souto, 2006)

Es importante tener presente que a pesar de las ventajas que caracterizan el empleo de biocombustibles, su producción y el uso final puede tener impactos ambientales serios como el empleo de las cantidades grandes del agua, la destrucción de bosques, la reducción de la producción de alimentos y el aumento de la degradación de suelo.

Un instrumento útil para determinar el impacto ambiental de los biocombustibles es el análisis de ciclo de vida (LCA), en el caso de bioetanol, los resultados de las investigaciones que usan LCA como un instrumento 'integral' es contradictorio, dado que algunos estudios presentan impactos negativos mientras que los otros son más favorables.

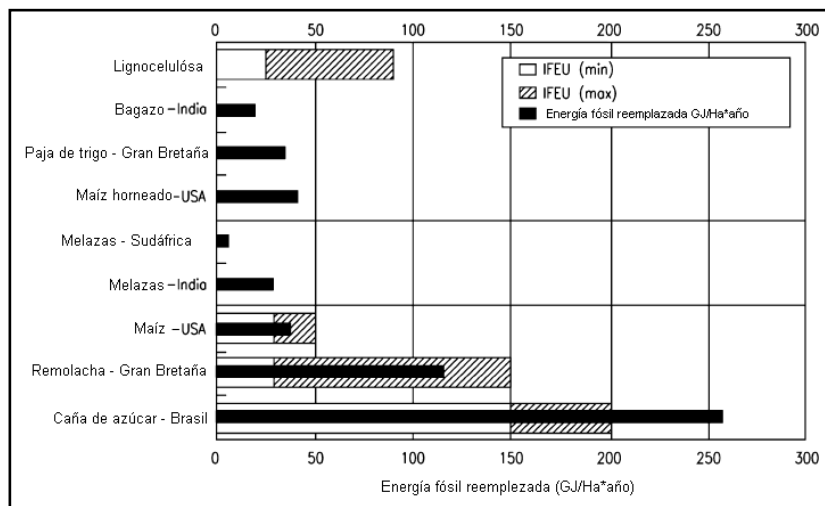


Figura 4.19 Eficiencia energética de la producción de bioetanol con diferentes materias primas en diferentes regiones del mundo (Blottnitz, 2006)

Indicadores diferentes son usados para evaluar las ventajas que cierto tipo de materia prima presenta en relación con otros. Uno de los indicadores usados es el potencial de reemplazo

de combustible fósil, expresado en GJ/Ha\*año, que depende del tipo de material agrícola usado para la producción de etanol. La Figura 4.19 presenta esta comparación.

Se demostró que el indicador renovable y la relación de energía fósil para la producción de etanol de maíz, pasto y madera, que es el caso de los Estados Unidos, son negativos, indicando que la energía renovable del etanol fuera de estas materias primas es inferior que la energía suministrada por combustibles fósiles durante su producción. Un se consideró el etanol producido del grano, mostró un valor positivo para este indicador, pero el valor era sólo 1.25.

La Tabla 4.6 presenta la relación entre los valores energía renovable/fósil obtenidos de materias primas usadas para la producción de bioetanol en diferentes países.

**Tabla 4.6 Relación energética renovable/fósil con diferentes materias primas para obtención de bioetanol (Blottnitz, 2006)**

Materia prima	País	Relación energética renovable/fósil
Caña de azúcar	Brasil	7.9
Remolacha	Inglaterra	2.0
Maíz	Estados Unidos	1.3
Melazas	Sudáfrica	1.1
Cáscara de trigo	Inglaterra	5.2
Cáscara de Maíz	Estados Unidos	5.2

La Tabla 4.7 presenta un resumen de la relación energética para el ciclo de vida del biodiesel con diversas materias primas en diferentes países.

**Tabla 4.7 Comparación de la relación energética renovable/fósil para la producción de biodiesel de diferentes plantas oleaginosas (Yáñez y col., 2008)**

Materia prima	País	Relación energética renovable/fósil
Colza	Europa	1.7
Soya	Estados Unidos	3.2-3.4
Semilla de girasol y colza	Europa	2.4-5.23
Ricino	Brasil	2-2.9
Aceite de palma	Brasil	4.7
Aceite de palma	Colombia	4.86-5.95

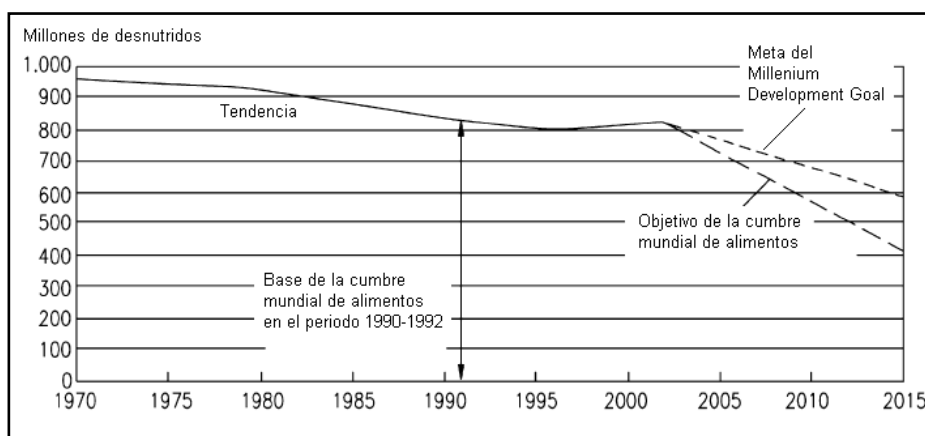
En un futuro el uso de residuos lignocelulósicos para la producción de bioetanol probablemente conducirá a un incremento en la relación de energía fósil renovable. La selección

apropiada del tipo de cosechas para cierta región puede reducir el impacto ambiental asociado, y disminuir el uso de fertilizantes, agua y contaminación que involucra este proceso. Los combustibles fósiles son usados para la producción de materia prima, transporte y la fabricación de biocombustibles (Escobar y col., 2008).

#### 4.5 Los biocombustibles y la seguridad alimenticia

La pobreza en áreas rurales y la carencia de programas y financiamientos para el desarrollo agrícola son las causas más importantes de inseguridad alimenticia; conflictos, terrorismo, corrupción y la degradación ambiental también contribuyen considerablemente en el problema. La producción de alimentos en el mundo ha aumentado considerablemente. Sin embargo, la insuficiencia de vivienda así como catástrofes naturales o causadas por hombre han impedido a la población satisfacer sus necesidades básicas de alimentación.

Considerando el crecimiento de población esperado, que hacia el año 2050 debe alcanzar a aproximadamente 9.2 billones de habitantes, los problemas referentes al hambre y la inseguridad alimenticia seguirán o inclusive aumentaran dramáticamente en algunas regiones del mundo (Figura 4.20), a menos que se tomen medidas urgentes.

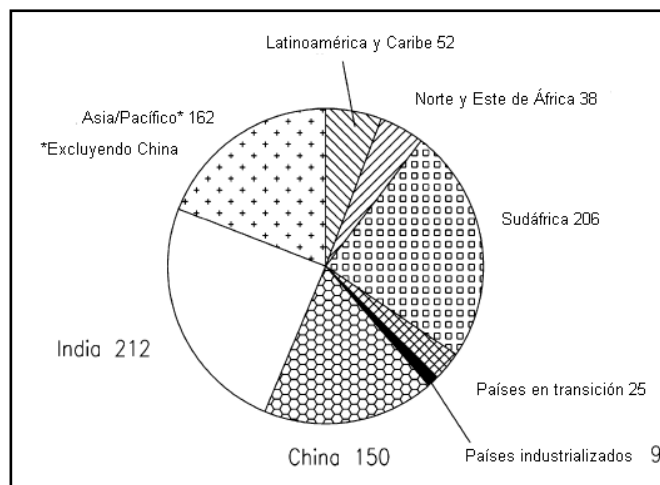


**Figura 4.20 Número de personas desnutridas en países desarrollados en el periodo 1990-2002 y proyecciones al 2015 (FAO, 2006)**

En 1992, hubo una reunión en Roma (la Cumbre mundial de alimentos - CMA) que junto a los gobiernos de 180 países. Durante esta reunión los países expresaron su voluntad para reducir el número de personas desnutridas en el mundo hacia el año 2015 a la mitad del número presentado en 1990. Un análisis que se realizó diez años más tarde mostró que los resultados no eran satisfactorios.

Dentro el período comprendido entre 2001 y 2003 la FAO estimó que existían 854 millones de personas desnutridas en el mundo, de las cuales 820 millones estaban en los países en vías de desarrollo, 25 millones en los países de transición y 9 millones en los países industrializados. En 2006, en comparación con el período entre 1990 y 1992 (Figura 4.21), se había reducido el número de personas desnutrida en países en vías de desarrollo en 3 millones. Este número miente dentro

de los niveles de errores de la estadística y no refleja una reducción de la población que sufre de hambre y desnutrición en el mundo.



**Figura 4.21 Distribución por regiones y países de personas desnutridas en el mundo entre 2001 y 2003 (FAO, 2006)**

Entre las causas que hacen difícil de alcanzar el objetivo propuesto por la CMA están los conflictos armados y catástrofes naturales. En algunos países, donde no hay ninguno de estos conflictos, es posible observar un pobre desarrollo agrícola y económico aunado a las altas tasas de crecimiento de la población. Es posible concluir que la desnutrición y los problemas de seguridad alimenticia en el mundo son críticos y su relación con la producción de biocombustibles debe ser estudiada.

Las causas principales de inseguridad alimenticia son la pobreza, en términos de ingreso, acceso a la educación, recursos agrícolas, tecnología y líneas de crédito para la producción de alimentos. En la mayor parte de los países que sufren de inseguridad alimenticia la población más vulnerable depende principalmente de la agricultura local. El desarrollo rural es un camino importante para reducir la pobreza y la inseguridad alimenticia. Así, los países con un mejor potencial climático y de tierra para el desarrollo de biocombustibles tienen más posibilidades de desarrollar sus regiones agrícolas, que pueden mejorar considerablemente la condición de vida de la población, aumentando sus ingresos. Por otra parte, considerando que la cantidad de tierra disponible en el mundo para la agricultura es limitada, es necesario definir la fracción de las tierras de labranza que podrían ser usadas para la producción de biocombustibles.

Los cereales son la fuente de alimentación más importante en el mundo, para el consumo directo o indirecto del hombre o para alimentar al ganado. Por lo tanto, la variación en la disponibilidad y los precios de cereales puede ser crucial para el suministro mundial de alimentos. El uso de tierras de labranza y granos que podrían ser consumidos por humanos para la producción de biocombustible ya envía señales de advertencia en algunos sitios del mundo.

Los Estados Unidos son responsables del 70 % de la exportación de granos en el mundo. Como cada vez más y más destilerías están siendo construidas allí para la producción de etanol, la preocupación crece, tanto en los fabricantes de alimentos que dependen de estos granos, como los países que importan el alimento y petróleo simultáneamente. Como los precios de petróleo suben, la producción de biocombustibles sin el uso de productos agrícolas es más provechosa y, por lo tanto, hay un riesgo de que exista un alza en el precio más allá del precio ofrecido por la industria de alimentos en la materia prima usada para la producción de biocombustible. En Europa, la producción de biodiesel sin el uso de aceite vegetal condujo a los productores de margarina a solicitar la ayuda para el Parlamento europeo, considerando la desigualdad de los precios con los que ellos tuvieron que competir con las refinerías biodiesel.

El área destinada al cultivo de cereales en los Estados Unidos en 2007/2008 ha sido el más grande desde 1944. Las áreas usadas para este tipo de cosecha han estado cultivando y empujando las áreas de otras cosechas como las soya y el trigo. Como más granos están siendo destinados a propósitos energéticos, los inventarios disponibles para el alimento ha sufrido caídas, lo que causa alarma en relación con la disponibilidad de alimento y alzas en los precios. En 2006, el precio de trigo y el maíz alcanzó los niveles más altos durante los 10 años pasados.

En México, existe una gran preocupación en cuanto a los precios del maíz, dado que la producción de tortillas, el alimento principal de la población, depende del maíz producido en los Estados Unidos. Alzas considerables en los precios del azúcar fueron observadas en Colombia debido al aumento de la producción de etanol. Un alza en el precio de los alimentos se puede esperar principalmente debido a dos motivos: los altos precios de producciones agrícolas (principalmente porque hoy la agricultura es el principal consumidor de combustibles fósiles) y la influencia que tienen los biocombustibles sobre los precios de los granos en el mundo.

La creación y el establecimiento de políticas reguladoras que garanticen el control de la tierra destinada a la producción de biocombustibles tienen una gran importancia, tratando de evitar un aumento más grande en la degradación del medio ambiente por el crecimiento acelerado de este mercado. Cada año 100,000 kilómetros cuadrados de tierra pierden su vegetación, son erosionados o convertidos en desiertos.

Estos hechos tienen consecuencias directas en los cambios del medio ambiente y las condiciones climáticas del planeta. Considerando las preocupaciones crecientes de la sociedad en relación con los impactos ambientales y la seguridad alimenticia, una serie de medidas están siendo sugeridas por organizaciones no gubernamentales, países europeos y sectores gubernamentales en Brasil y Colombia.

Además de la contribución a las emisiones de GEI, las expansiones para cultivos de biocombustibles también pueden conducir a conflictos de empleo de tierra entre los propietarios de las tierras. Pérdidas de hábitat y diversidad biológica pueden ser resultado de un aumento de la capacidad de producción global biodiesel para encontrar el futuro biodiesel demandas (277

millones de toneladas estimados por año hacia 2050). La Figura 4.22 muestra la expansión de tierras de cultivo para el biodiesel que se tendrá para el año 2050.

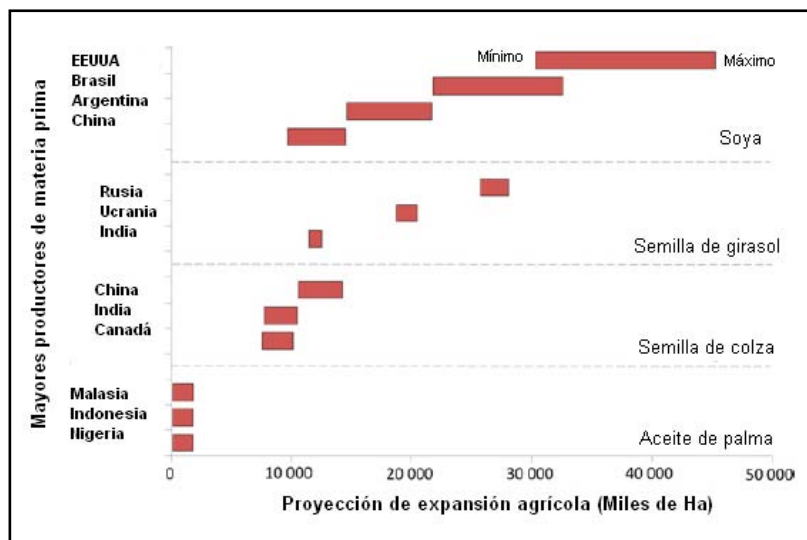


Figura 4.22 Proyección de expansión agrícola para producción de biodiesel para 2050 (Pin Koh y Ghazoul, 2008)

La demanda de biocombustibles y el impacto de pasar sobre precios de productos de alimentación más lejos indirectamente puede afectar bosques y diversidad biológica por minando nuevos sistemas conducidos por incentivo para la conservación ambiental. Los gastos de oportunidad de adoptar pago para servicio ambiental (PES) esquemas como reducir emisiones de deforestación y degradación, considerablemente puede ser aumentado así reduciendo su atracción para conseguir a propietarios y gerentes, y a gobiernos o empresas que invertirían dinero en tales esquemas (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

El cambio de uso de tierra directo ocurre cuando tierras no agrícolas, o sistemas de agro silvicultura diversos, son convertidos a cultivos energéticos. La conversión puede ser emprendida a gran escala por empresas de biocombustibles a menudo animadas por políticas de gobierno, en una escala media por los empresarios que negocian derechos de empleo de tierra al bosque y las participaciones en los beneficios con comunidades locales, o por una mucho más pequeña escala por agricultores individuales de una manera oportunista que usurpan sobre la tierra forestal (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

Durante décadas anteriores al año 2000, la disminución en los precios de productos alimenticios ha permitido a millones de personas por todo el mundo superar la pobreza. Sin embargo, durante el inicio de este milenio, los precios de materias primas básicas de alimentos, como el trigo y el arroz, han subido regularmente (Figura 4.23). Durante el periodo 2007-2008, los precios de exportación de trigo aumentaron en un 130 %, el arroz en un 98 % y el maíz en un 38 %. Entre más afectados están los pobres quienes gastan entre el 50-60 % de sus ingresos en alimentos. Por lo menos 1.2 millones de Asiáticos padecen desnutrición y la privación de alimentos debido a la inflación en precios de productos de alimenticios.

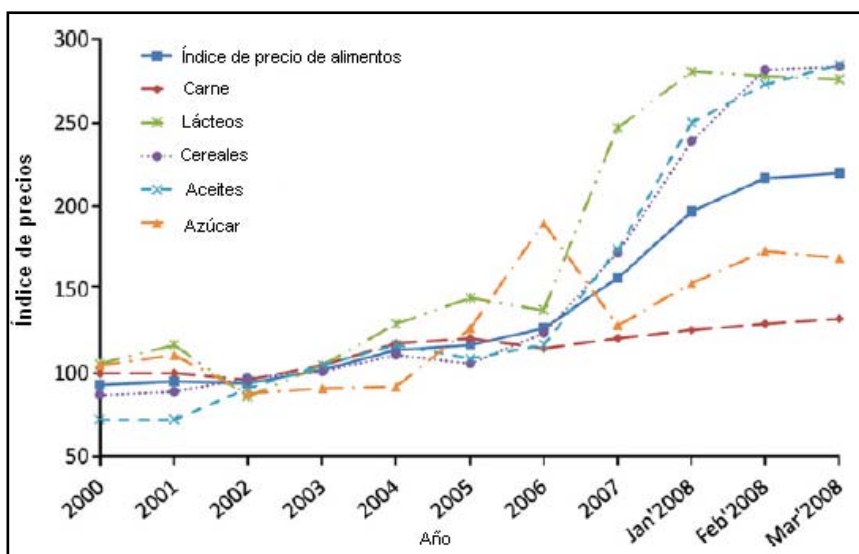


Figura 4.23 Índice de precios de los alimentos del año 2000 al año 2008 (Pin Koh y Ghazoul, 2008)

Las causas subyacentes del alza de los precios de productos alimenticios son muchas y el complejas. Incluyen factores como las condiciones adversas meteorológicas que afectan la productividad de las cosechas, la demanda especulativa o preventiva de materias primas de alimentos y respuestas inadecuadas de política como las prohibiciones de exportación de productos de alimentación. Más importante son los factores estructurales que incluyen gastos de energía crecientes, estancamiento en la productividad de cosecha, insuficiencias de política o fracasos que obligan el desarrollo agrícola, el cambio de clima, la demanda creciente del valor más alto y productos de alimentación intensivos de maíz y la desviación de cosechas o desechos agrícolas a la producción de biocombustibles.

Aunque los biocombustibles han recibido una cantidad desproporcionada de culpa por el alza en los precios de los alimentos, claramente merece un poco de culpa: el empleo de maíz para producir bioetanol en EU ha aumentado de 6 % de la producción total de maíz a 23 % durante los tres últimos años (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

Una verdadera caja de Pandora ha sido abierta. La crisis de alimentos se debe al alza en los precios de petróleo crudo, un aumento exponencial de los precios de fertilizantes y alimentos básicos y el aumento de la esperanza de vida de millones de personas en los países poco desarrollados. La especulación financiera, barreras comerciales y la carencia de políticas y fondos del desarrollo agrícola también deben ser consideradas. Todos estos factores están conectados y tienen una influencia negativa sobre la producción de alimentos, haciendo obvio que todos los males de esta caja de Pandora emerjan en una espiral infinita y mortal que nos borrarán a no ser que nosotros encontremos los medios para salvarnos. Como en el mito, la esperanza se mantiene. La Crisis explotó en la cara de todos, porque fuimos incapaces a prevenir el peligro. Las Naciones Unidas ahora reclaman (tal vez un poco tarde) por soluciones, pero es inevitable mantener en mente que la situación presente es el resultado de todas las causas antes mencionadas, añadiendo cientos de años de una injusta distribución de riqueza (Escobar y col., 2008).



#### **4.6 Desarrollo rural**

Los aumentos recientes de precios de productos alimenticios provocados por los biocombustible no deberían sorprender a algunos defensores de biocombustibles. De hecho, los que ven el empleo de biocombustible como una forma de propiciar el desarrollo rural deberían contar con que los precios de productos alimenticios se eleven. Los analistas prevén que el alza en los precios de alimentos y materias primas estimularía el sector agrícola para responder por la producción creciente. Esto se traduciría en tarifas de empleo más altas y salarios para los agricultores pobres, en particular en muchos países en vía de desarrollo donde las actividades agrícolas requieren mucha mano de obra.

Además, inversiones mayores en la agricultura podrían ayudar a mejorar la producción y su eficiencia. De este modo, el rural pobre podría hacerse los beneficios del uso de biocombustibles, en mayor o menor escala. Sin embargo, la mayor parte de los analistas reconocen que consumidores sin tierra tanto en áreas rurales como en urbanas en última instancia pueden sufrir como consecuencia el alza en los precios de productos alimenticios (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

#### **4.7 Competencia por recursos acuíferos**

En muchos países en vía de desarrollo, la carencia de agua limpia y saneamiento a menudo causa la desnutrición, enfermedades, y muertes. La extensión agrícola para cultivos energéticos puede competir con otros empleos por el agua y así contribuir a demandas crecientes de agua. El grado al cual el empleo de biocombustibles exacerbará la crisis de agua depende cuánto requieren que la irrigación cultive cosechas de biocombustibles, que variarán con el tipo y la ubicación de la cosecha siendo cultivada. En Estados Unidos, la irrigación representa la mayoría del empleo nacional físico del agua.

La producción de biocombustibles en Estados Unidos podría tener impactos significativos regionales y locales donde fuentes de agua ya son acentuadas. Por ejemplo, el desplazamiento de la soya por el maíz (para producir bioetanol a base de maíz) causará el uso mayor de agua los llanos del norte y del sur. En otras regiones del mundo, como Malasia o Indonesia, la precipitación abundante suministra la mayor parte del agua necesaria para la agricultura. En estas regiones, el drenaje es una preocupación mayor para agricultores que la irrigación, y la producción de cosechas de biocombustibles para tener un impacto dramático sobre la disponibilidad de agua.

Sin embargo, la materia prima de la agricultura no es el único proceso en la producción de biocombustibles que requiere el agua, las biorefinerías consume 4 galones de agua de proceso por galón de bioetanol producido, en gran parte de pérdidas por evaporación durante la destilación de etanol después de la fermentación. Esto quiere decir que una biorefinería la producción de 100 millones de galones de bioetanol por año usaría el equivalente del abastecimiento de agua anual para una ciudad de 5000 personas (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

#### **4.8 El futuro de los biocombustibles**

Durante los últimos años, los biocombustibles han recogido por todo el mundo intereses para su potencial para reducir emisiones de GEI, mejoran la seguridad de energía y mejoran el desarrollo rural. Al mismo tiempo, los informes sobre los gastos ambientales y sociales asociados con la producción de biocombustibles han removido una tormenta de controversias. Sin embargo, en términos de acontecimientos en curso en la selección de materia prima y tecnologías de producción que aún puede permitir a biocombustibles para realizar su promesa como una fuente viable de energía renovable (Pin Koh y Ghazoul, 2008).

El costo-beneficio es una lógica de razonamiento basada en el principio de obtener los mejores y mejores resultados en menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana. Se muestra que muchos hechos y cosas pueden evaluarse bajo este lógico, aquellos donde los beneficios superan el costo son exitosos, caso contrario fracasan.

El análisis de costo-beneficio es un término que se refiere a:

- Una disciplina (técnica) o protocolo para evaluar o ayudar a evaluar, en el caso de un proyecto o actividad, que en sí es un proceso conocido como evaluación de proyectos.
- Un planteamiento filosófico, por naturaleza



Figura 5.2 Tiempo de cultivo de producción para la siembra y cosecha en 2000 (1000, 2000)

El costo-beneficio es una lógica o razonamiento basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana. Se supone que todos los hechos y actos pueden evaluarse bajo esta lógica, aquellos dónde los beneficios superan el coste son exitosos, caso contrario fracasan.

El análisis de costo-beneficio es un término que se refiere tanto a:

- Una disciplina formal (técnica) a utilizarse para evaluar, o ayudar a evaluar, en el caso de un proyecto o propuesta, que en sí es un proceso conocido como evaluación de proyectos
- Un planteamiento informal para tomar decisiones de algún tipo, por naturaleza inherente a toda acción humana

Bajo ambas definiciones el proceso involucra, ya sea explícita o implícitamente, un peso total de los gastos previstos en contra del total de los beneficios previstos de una o más acciones con el fin de seleccionar la mejor opción o la más rentable. Muy relacionado, pero ligeramente diferentes, están las técnicas formales que incluyen análisis coste-eficiencia y análisis de la eficiencia del beneficio.

El análisis costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. Este método se aplica a obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc., prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas (SLC, 2000).

En lo que concierne al biodiesel, su costo depende principalmente de la materia prima que es usada para su producción. El biodiesel se obtiene de aceite de cocina reciclado y grasa animal, tiene un precio inferior en relación con el que se produce de aceites vegetales como la soya y colza. De hecho tiene un costo menor que el diesel. La Figura 5.1 muestra una comparación entre los costos de producción del biodiesel de diferentes materias primas usadas en Estados Unidos y Europa y el diesel común.

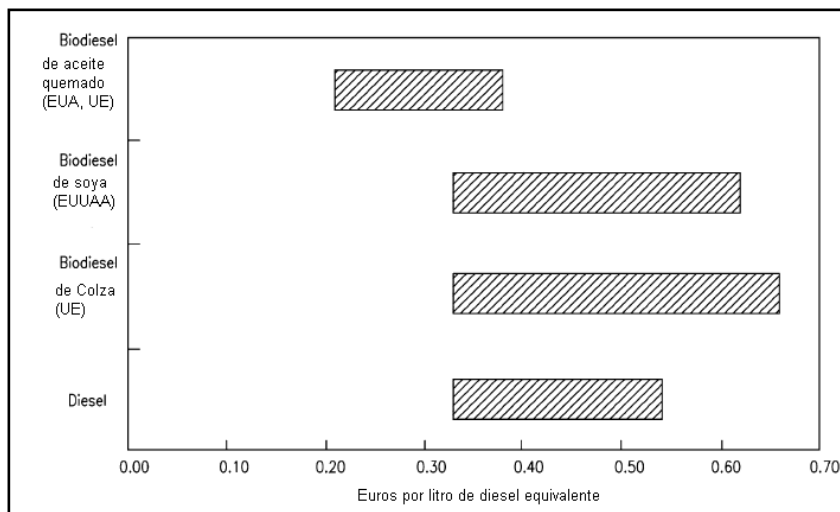


Figura 5.1 Rango de costos de producción para biodiesel y diesel en 2006 (WW, 2006)

El etanol obtenido de material lignocelulósico no es económicamente factible a escala industrial. Aunque los próximos años, la solución para este problema está en la determinación de la mejor opción para lograr la glucosa por la hidrólisis de celulosa en términos de costeo global, la producción de glucosa y fermentabilidad de la materia hidrolizada. La Figura 5.2 presenta los valores de los costos de producción del etanol y la gasolina en el 2006.

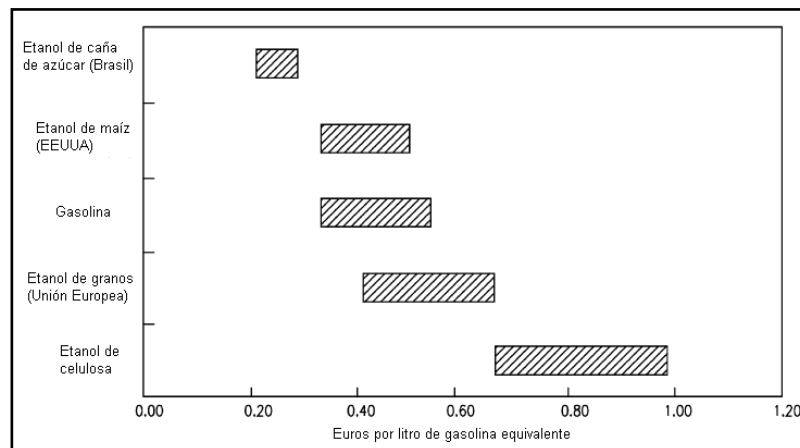


Figura 5.2 Costos de producción de bioetanol y gasolina en 2006 (WW, 2006)

El costo del petróleo influye directamente en la viabilidad económica de los biocombustibles. Así, mientras el costo internacional del petróleo continua subiendo, la rentabilidad de la producción de biodiesel y el bioetanol de materias primas diferentes será mucho más alto.

Para determinar el precio del petróleo en el mercado mundial, que es el punto de partida de la producción de biocombustibles se hace provechoso, un indicador conocido como punto de rompimiento (punto de balance) es usado para hacer estas determinaciones.

En la Unión europea el punto de equilibrio de los biocombustibles puede ser de \$ 75 a 80 dólares por barril de petróleo en relación con el aceite de colza \$ 90 dólares por barril, el bioetanol \$100 dólares por barril, biodiesel a \$ 155-160 dólares por barril, siendo considerandos de segunda generación.

En los Estados Unidos el punto de balance para el bioetanol corresponde a los precios de petróleo entre \$ 40 a 50 dólares por barril. Esto quiere decir que su producción no se ve favorecida con precios por debajo de los \$ 40 dólares por barril".

En el caso de Brasil, oscila entre \$ 30 y 35 dólares por barril, cuando se considerada el etanol. Para biocombustibles obtenidos de aceites vegetales, dado que esta tecnología es todavía incipiente, este indicador, como se estima, está en la gama de \$ 60 dólares por barril.

La necesidad de reducir el costo de producción de biocombustibles dentro de los próximos años es notable, dado que hoy, sus precios dependen de subsidios puestos en práctica por los gobiernos (Escobar y col., 2008).

## 5.1 Leña

Un elemento muy importante en la economía de las familias que usan leña es que por tratarse de un combustible de acceso libre y disponibilidad relativamente amplia para toda la población, no entra en el circuito de comercialización. Por lo mismo no representa erogaciones en efectivo y no requiere aplicar los muy escasos recursos monetarios de las familias rurales (Amo, 2001).

Tabla 5.1 Formas de obtención de la leña % de hogares (Masera, 1993)

Región	Árboles muertos	Ramas	Árboles vivos
<b>SEMIP (1987)</b>			
Baja California	95.4	1.1	0.6
Pacífico norte	90.9	0.0	0.5
Norte	98.4	0.1	1.5
Centro norte	79.2	2.3	2.3
Golfo norte	99.6	0.0	0.0
Central	84.5	1.0	0.5
Pacífico centro	92.9	2.9	0.5
Pacífico sur	81.9	2.5	13.4
Golfo centro	74.1	1.2	15.1
Península de Yucatán	98.4	0.3	1.0
Nacional	86.1	1.6	5.5
<b>Micro región FAO (1997)</b>			
Lago de Pátzcuaro, Mich.	77.0	20.0	29.0
Tlapa Guerrero	45.0	57.0	78.0
Los Altos Mixtepec, Oaxaca	96.0	78.0	3.0
Pajapan, Veracruz	56.0	64.0	5.0
Jicacal, Veracruz	97.0	21.0	0.0

Nota: Los porcentajes no suman cien porque son preguntas de opción múltiple. El número entre paréntesis indica el año del estudio.

En cambio, otras regiones del país donde existe escasez pronunciada de recursos forestales y/o economías familiares más monetarizadas, la leña suele comerciarse y a veces representar un alto porcentaje de los egresos familiares (Masera y Ordóñez, 1997).

Actualmente no se tiene información suficiente que permita calcular la cantidad de leña obtenida en forma renovable. Sin embargo, diversos estudios reportan que la principal forma de obtención de leña, sobre todo en el medio rural, es la recolección. Esta actividad en lugar de perjudicar al recurso forestal, como usualmente se piensa, ayuda a la conservación de los bosques ya que la leña se obtiene principalmente de árboles muertos y ramas secas, evitando las enfermedades e incendios forestales (SEMIP, 1988).

La Tabla 5.1 muestra las principales formas de obtención de leña, se observa que los árboles muertos proporcionan el mayor porcentaje de madera para leña, con valores que oscilan entre el 45% y el 99.6%. Sin embargo, en los últimos años la leña proveniente de ramas y árboles vivos se ha incrementado, este fenómeno indica una posible reducción del tipo preferido de madera para combustible, el incremento de la distancia de extracción de leña, o la escasez del recurso.

Adicionalmente, Masera en 1996 estimó que en México existe un acelerado proceso de deterioro y pérdida de los recursos forestales, las estimaciones disponibles indican un rango de pérdida de cubierta forestal de 370 mil a 720 mil ha/año (Masera, 1995).

Adicionalmente, Masera en 1996 estimó que en México existe un acelerado proceso de deterioro y pérdida de los recursos forestales, las estimaciones disponibles indican un rango de pérdida de cubierta forestal de 370 mil a 720 mil ha/año (Masera, 1995).

## **5.2 Carbón vegetal**

Los productores de carbón vegetal pertenecen a dos grupos. En el primero están los productores de subsistencia que venden el carbón vegetal solamente para conseguir dinero en efectivo para comprar bienes de consumo o pagar impuestos, etc. Para este productor interesa poco la economía y el control de costos, puesto que necesita efectivo y la forma de adquirirlo es vendiendo parte de su carbón.

El segundo grupo produce y vende el carbón vegetal como negocio, en el que les preocupa la circulación y crecimiento del capital que han invertido en la actividad, siendo importante para ellos la economía y el control de los costos.

Si bien en el primer grupo no hay una mayor preocupación individual sobre la economía, las autoridades que se preocupan por mejorar la industria del carbón vegetal, deben estudiar los aspectos económicos de la producción de carbón vegetal de subsistencia. Un análisis económico debe ser la base de cualquier programa de asistencia para que estos productores fabriquen más y mejor carbón vegetal. En muchos países, el carbón vegetal producido para la subsistencia es el componente principal de la producción total de carbón vegetal. El análisis económico es importante para definir el futuro de este sector de la industria, para revelar sus características positivas y negativas, y su viabilidad a largos plazos.

### *Análisis económico y control de costos*

Es difícil trazar una línea divisoria neta entre estas dos actividades. Generalmente, el análisis económico es para el uso directo en la fase de la planificación del desarrollo de una empresa, para proyectar el costo de construcción y de ponerla en producción. El objetivo es de demostrar la factibilidad económica de la propuesta, para luego movilizar los fondos de inversión necesarios y establecer cómo serán manejados y devueltos. El control de costos, por otra parte, se refiere más a una empresa instalada y en funcionamiento. Es la herramienta de gerencia que permite a la empresa mantenerse económicamente viable.

El control de costos de producción se construye alrededor y forma parte de las operaciones de una empresa en producción. Puede realizarse con un conocimiento básico contable, o aún solamente de teneduría de libros. El principal requisito es de usar siempre datos de producción y estadísticos medidos en la planta misma. En contraposición, el análisis económico de los proyectos exige un conocimiento más profundo de la economía y un conocimiento técnico de los procesos que se usarán. Un proyecto grande exige un equipo de técnicos, algunos más calificados en economía, otros en tecnología e ingenierías.

### *Los métodos de análisis económicos de proyectos*

El proceso del análisis económico de proyectos se designa, a menudo, como estudio de factibilidad pero, en sentido estricto, es sólo un paso en el camino para establecer un proyecto completo. Para proyectos de carbón vegetal, de tamaño grande a mediano (Mayer, 1978), se requiere un equipo de profesionales que puedan cubrir los campos de la economía, silvicultura e industrias forestales, construcción e ingeniería civil, tecnología del proceso de producción, finanza y mercadeo. El estudio completo para la industria de carbón vegetal tiene los siguientes objetivos:

1. Asegurar que exista un mercado, o un uso final, de tamaño adecuado para el carbón y cualquiera de sus subproductos, y dimensionarlo en detalle.
2. Demostrar que existe adecuada y apta madera como materia prima, y que puede ser cosechada económicamente en el curso de la vida útil, esperada para la planta, o demostrar que una fuente de materia prima apta puede ser generada económicamente por medio de plantaciones forestales.
3. Elegir la tecnología de producción que se usará y diseñar el entero sistema de producción, desde la cosecha de la madera hasta el empaquetado y mercadeo del carbón vegetal.
4. Preparar las proyecciones financieras completas que muestren el método de financiación, los presupuestos detallados de gastos para el terreno, la planta, la preparación del lugar, infraestructura, construcciones, inicio de la producción y costos de entrenamiento. Las proyecciones financieras deben extenderse por aproximadamente veinte años, hasta un momento en que las deudas asumidas para la construcción de la planta han sido liquidadas y la empresa funciona como una actividad establecida. Para la empresa manufacturera sería suficiente una proyección de doce a quince años, pero si la empresa tiene que establecer plantaciones para abastecer la madera, es entonces necesario ampliar la proyección financiera hasta que la plantación ha completado totalmente una rotación, inclusive reposiciones, lo que puede significar veinte o más años. Las proyecciones financieras deben ajustarse a un modelo financiero que muestre ganancias y pérdidas, fuentes de los recursos y gastos, impuestos y flujo de caja.



5. Preparar la documentación para negociar con las agencias del gobierno las cuestiones sobre los recursos forestales, localización de la planta, fuentes de energía y de otras concesiones impositivas, necesidades infraestructurales, control de la contaminación, etc.
6. Preparar la documentación y negociar con las agencias financieras, nacionales e internacionales, para obtener los recursos financieros para el proyecto.

La lista de requisitos es enorme y, para llevarlos a cabo, es costosa y exige mucho tiempo. Afortunadamente, autoridades financieras internacionales han desarrollado secuencias de procedimientos más o menos de rutina, para completar este trabajo, y el proceso se divide en una serie de pasos destinados a probar la factibilidad del proyecto, antes de comprometer los fondos para un estudio completo técnico y financiero. Normalmente, el estudio completo del proyecto está precedido por, a lo menos, dos etapas denominadas, estudio de perfectibilidad y estudio de factibilidad, Si los resultados de estos estudios es positivo, se justifica entonces invertir fondos para planificar el proyecto en forma completa, que lleve a la financiación y a la construcción de la empresa.

El valor del estudio completo depende, a largos plazos, de la calidad de los datos básicos sobre los que se apoya el estudio. Un estudio basado sobre falsas premisas es inútil. Solamente la experiencia en el campo puede indicar si los datos básicos son o no son razonables. Como gula, a los efectos de errores en premisas básicas, se suele poner a la prueba el modelo completo financiero del proyecto, usando varios valores para supuestos clave como, el precio de venta del carbón vegetal, porcentaje de carbonilla, rendimiento en carbón vegetal durante la carbonización, costo de la madera al punto de entrega, costos de cultivo y corta, ritmos de crecimiento de las plantaciones y así sucesivamente. Se pone entonces en mayor evidencia el grado de riesgo implicado por variantes en los principales factores del costo, y hace que los factores llave sean analizados con más aproximación. Una vez que se ha preparado y programado en una ordenadora el modelo financiero, este tipo de estudios es relativamente sencillo de desarrollar. La planificación es relativamente simple: La tarea difícil, especialmente en esta época con elevadas tasas de interés, es de construir la planta y ponerla en condiciones de funcionar con beneficios, en el cuadro de los recursos financieros disponibles. Si se presentan problemas graves de mayores costos o de demoras en la construcción, puede fácilmente presentarse la situación por la cual el proyecto no puede ser completado, o que no podrá operar nunca con beneficios. De allí la necesidad de buscar soluciones para la fabricación de carbón vegetal que requieran el mínimo de inversiones de capital

#### *Control de costos en empresas establecidas*

En la actualidad, es un asunto difícil y costoso conseguir la financiación y construir una gran empresa nueva para la fabricación de carbón vegetal. Como ya se ha dicho, los costos de capital y de interés son tan altos que cortas demoras en la construcción pueden transformar un proyecto rendidor en uno que produzca siempre pérdidas. Debe, por lo tanto, ponerse más atención en mejorar y desarrollar operaciones ya establecidas en la producción de carbón vegetal, capitalizando sobre la experiencia interna y sobre los recursos que poseen, para eliminar o reducir los inconvenientes que les impiden funcionar con la máxima eficiencia. Es normalmente más fácil, y a menudo financieramente más exitoso, ampliar una empresa existente, más que construir otra completamente nueva, de tamaño grande, esperando que funcione provechosamente sin dificultades.

Las empresas establecidas y los métodos de producción tradicional no siempre están dando buenos resultados o tienen sólidas bases. Sin embargo, siempre existe una estructura de capacidad y de experiencia en el marco del método que puede a menudo ser movilizado, para operar con mayor eficiencia con un adecuado control de costos.

#### *Las operaciones unitarias*

El primer paso en el control de costos es el de identificar las operaciones unitarias en la fabricación del carbón vegetal, y decidir sobre un sistema de costos unitarios, que normalmente coinciden con las suboperaciones. El ejemplo siguiente deriva de las operaciones en el bosque chaqueño en Sudamérica (Booth, 1974) donde se fabrica carbón vegetal en gran escala por métodos tradicionales, pero bien organizados. En la Figura 5.3 se indican las operaciones unitarias.

Estas suboperaciones pueden ser usadas para los subcostos, calculándose por lo tanto los costos unitarios para cada una de ellas. Puesto que el costo total de producción es la suma de cada costo unitario, siempre que sean expresados en unidades de medida comunes, por ejemplo, por tonelada de carbón vegetal al costado del horno, se ve claramente la importancia relativa de cada suboperación. Por ejemplo, el subcosto de cosechar la madera entregándola al costado del camino puede haber sido calculada en 5 dólares por estéreo. Este costo tiene que ser expresado en dólares por tonelada de carbón vegetal al pie del horno, para poder evidenciar con claridad su contribución al costo global. Este costo depende del rendimiento de los pasos individuales subsiguientes en el proceso. Por lo general, la pérdida durante la carbonización es el único paso significativo. El costo de 5 dólares por estéreo tiene que ser multiplicado por la cantidad de estéreos que se requieren para producir una tonelada de carbón vegetal sin carbonilla. Un valor típico podría ser de 7,3 estéreos de madera para fabricar una tonelada de carbón vegetal libre de carbonilla. El costo de la madera al costado del camino por ton de carbón vegetal es entonces de 5 dólares x 7,3 = Sus 36,50/ton para el carbón vegetal terminado y comerciable al costado del horno. Este procedimiento tiene que ser aplicado a todos los subcostos, para determinar su efecto global sobre el costo del producto. Se requiere conocimiento técnico del proceso, así como capacidad para contabilizar costos, para esto y para decidir si merece la pena esforzarse para reducir el efecto de una determinada suboperación sobre los costos; por ejemplo podría subirse el rendimiento de madera por hectárea, recogiendo más madera de ramas de pequeño diámetro. Pero si esta madera produce en el horno principalmente y sólo carbonilla, el esfuerzo puede ser contraproducente; deberían hacerse ensayos para aclarar este punto. De allí la necesidad de combinar, para el control de costos, los esfuerzos del técnico con los del contable de costos.

#### *Costos unitarios y formulación de presupuestos*

Para el control de costos, deben establecerse en el presupuesto metas de costos. Para cada sector es más fácil si sus costos presupuestarios se fijan en la unidad de medida empleada en ese punto, por ejemplo estéreos para la leña, toneladas de carbón vegetal, ton/km de carbón vegetal, y sucesivamente. La gerencia combina estos valores, empleando índices adecuados de conversión, para controlar la performance global en términos del presupuesto para la empresa total. Para medir la performance global de la empresa, es necesario hacer inventarios del proceso regularmente, cada uno a tres meses. El stock físico de materia prima, del carbón vegetal semiterminado y terminado, cuando se combina con el gasto de madera y los envíos de carbón vegetal para el período inventariado, permiten calcular los resultados globales. Además, en cada departamento deben mantenerse registros del material usado, de la producción obtenida, cantidad de ciclos horneados. Deberán también anotarse, en los registros de producción de cada

departamento, los eventos no frecuentes, como las inundaciones, períodos prolongados de lluvias, condiciones muy secas, escasez de mano de obra, ruptura de equipos, y demoras de transporte. Son esenciales los elementos de medición y para pesar.

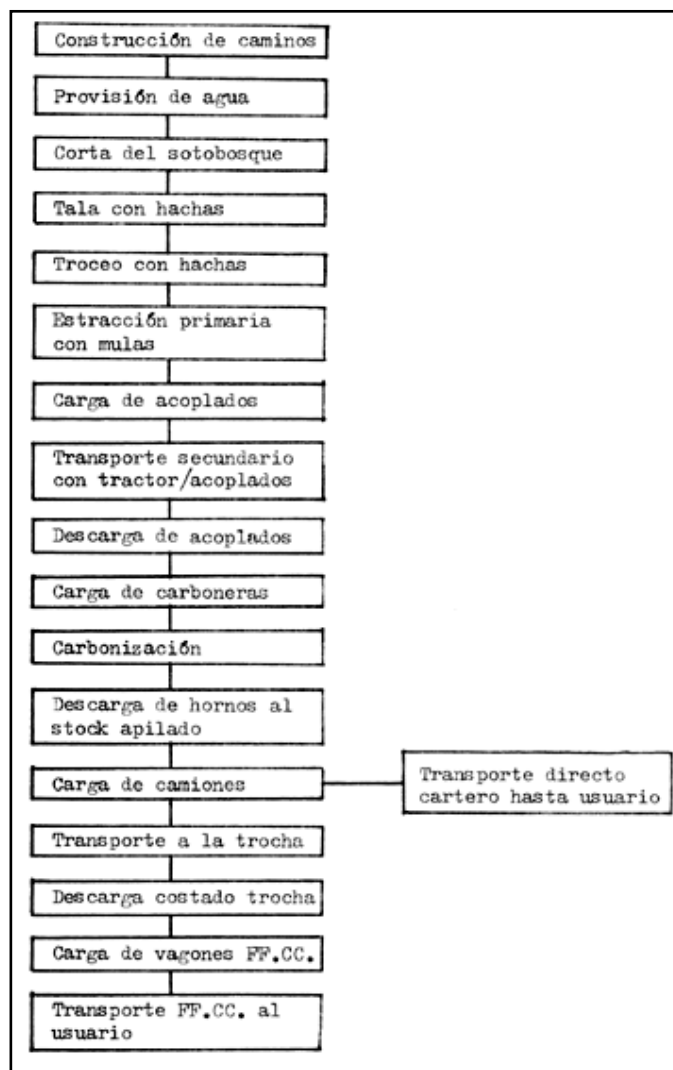


Figura 5.3 Suboperaciones en la producción de carbón vegetal (FAO, 1993)

#### *Gastos generales de supervisión y administración*

Cada método de control administrativo y el hacer presupuestos de costos, requiere personal y cuesta dinero. Los resultados deben justificar los esfuerzos. Deben por lo tanto calcularse los costos administrativos, divididos a su vez en sectores, y los costos prorrateados en los diversos sectores. Los análisis de costos para cada operación unitaria pueden revelar si algunas operaciones podrían preferiblemente ser subcontratadas, lo que normalmente requiere menores costos de supervisión y generales. El transporte es un caso especial, donde los contratistas pueden muy bien ser más baratos que un sistema organizado internamente.

La recolección y la evaluación de los datos de control de costos normalmente requieren un técnico adicional, quien puede también ser responsable del control de calidad, etc. La elaboración de los datos en bruto, para uso de la gestión, la hace el personal administrativo de la oficina.

La gerencia entonces compara los costos calculados de las operaciones unitarias actuales, con los costos fijados en el presupuesto al inicio del año financiero. Pueden tomarse medidas para reducir los costos excesivos, donde llegaran a presentarse y, al mismo tiempo, se vigila mensualmente la situación financiera de la empresa. Por este procedimiento no se conoce hasta el último centavo el resultado actual de ganancias y pérdidas de la empresa. Los resultados financieros exactos derivan de las cuentas financieras normales que se llevan paralelamente a los libros de costos. La contabilidad financiera, sin embargo, ofrece sólo un cuadro histórico de los resultados, que puede ser demasiado tarde para tomar medidas correctivas (FAO, 1993).

### 5.3 Bioetanol

Para estar en condiciones de ofrecer el etanol requerido para la mezcla en correspondencia al precio de la gasolina, no obstante que, en estas condiciones sería más justo comparar su impacto económico con el oxigenante que se sustituye EMTB. Será preciso analizar rápidamente el impacto dentro del costo de producción de los principales insumos (indirectamente caña de azúcar) y de las inversiones en planta, según se señalara líneas atrás.

La idea conceptual básica estriba en destinar mieles intermedias, particularmente miel B para su fermentación y elaboración subsecuente de etanol; con lo cual se dejaría de producir azúcar y melaza de acuerdo con la conocida fórmula SJM según el siguiente cálculo:

---

**Una tonelada de caña da teóricamente 53 Kg de miel B, 86.45° Bx=0.0458 Ton. Sólidos.**

**Una tonelada de caña da teóricamente 36.5 Kg de melaza, 85° Bx=0.03103 Ton. Sólidos.**

**Diferencia en Ton. Sólidos**

**0.01477 Ton. Sólidos.**

**Aplicando la fórmula SJM tendríamos:**

$$KABE = \text{Ton. Pol miel B} \times \frac{\text{Pureza azúcar (Pureza miel B - Pureza miel final)}}{\text{Pureza miel B (Pureza azúcar - Pureza miel final)}} \times 0.985$$

$$\text{Ton. Miel final} = \frac{\text{Ton. sólidos miel B} - \text{Ton. sólidos azúcar}}{0.85}$$

**Consecuentemente, 1 Tonelada de miel B daría: 0.146 Ton. de azúcar**

**0.845 Ton. de miel final**

---

Con este panorama, los ingresos potenciales por tonelada de caña con base en los precios del mercado mundial de azúcar y melazas serían:

---

**Azúcar \$ 0.07 / \$ 154.18 U.S./Ton.**

**Ingreso bruto: 0.053 Ton \* 0.146 Ton \* \$ 154.18 / Ton = \$ 1.19 U.S.**

**Melaza U.S. \$ 30.00 / Ton**

**Ingreso bruto: 0.053 \* \$ 30.00 / Ton \* 0.845 Ton = \$ 1.34 U.S.**

**Ingreso total \$ 2.53 U.S.**

---

Considerándose un rendimiento de 275 L de etanol/ Ton miel B., las cifras por tonelada de cana alcanzarían:

$$0.053 \text{ Ton miel B} * 275 \text{ L de etanol/Ton miel B} = 14.57 \text{ L etanol}$$

El ingreso por su venta debería ser teóricamente equivalente a los \$ 2.53 U.S. o sea:

$$\$ 0.1736 \text{ U.S. / L etanol}$$

El sistema de pago de la materia prima, contempla dentro de la fórmula establecida el componente del precio del dulce en el mercado mundial (el cual oscila en estos momentos alrededor de los siete centavos de dólar la libra para el crudo); situación que pronostica un serio quebranto para los exportadores, si se le compara con el precio del mercado doméstico. Aquí, se presenta una coyuntura interesante, si se transfiere el impacto negativo hacia la promoción de programas de producción de etanol.

El azúcar que dejaría de producirse por zafra, para una molienda estimada en un millón de tonelada de caña sería: 7,738 Toneladas.

La miel final que ya no se produciría por zafra para la misma molienda sería equivalente a 36,500 Toneladas.

Todo esto, basado en el aprovechamiento de la miel B: 53,000 Toneladas, para otros fines; alcohol en nuestro caso.

A continuación se presenta un análisis de coyuntura; corresponde al caso donde habría que exportar azúcar al mercado mundial, con precios deprimidos y participación del cañero en el diferencial de ingresos no recibido, la Tabla 5.2 muestra los aspectos a considerarse en la producción de etanol, mientras que la Figura 5.4 muestra una comparación entre los costos de producción de etanol y el petróleo (Enríquez, 2005).

Tabla 5.2 Costo de producción de etanol (Enríquez, 2005)

Materia prima	US\$/TM	US\$/L. alcohol
	30	0.109092
	35	0.127274
	40	0.145456
	45	0.163638
	50	0.181820
	55	0.200002
	60	0.218184
	65	0.236366
	70	0.254548
	100	0.363640
Combustóleo	US\$/L	US\$/L. alcohol
	0.31	
0.30		0.093
0.50		0.155
0.75		0.233
1.00		0.310
		US\$/L. alcohol
Mano de obra		0.02500
Productos químicos		0.01875
Agua y energía eléctrica		0.00500
Desalojo de vinazas		0.01000
Depreciación		0.01667

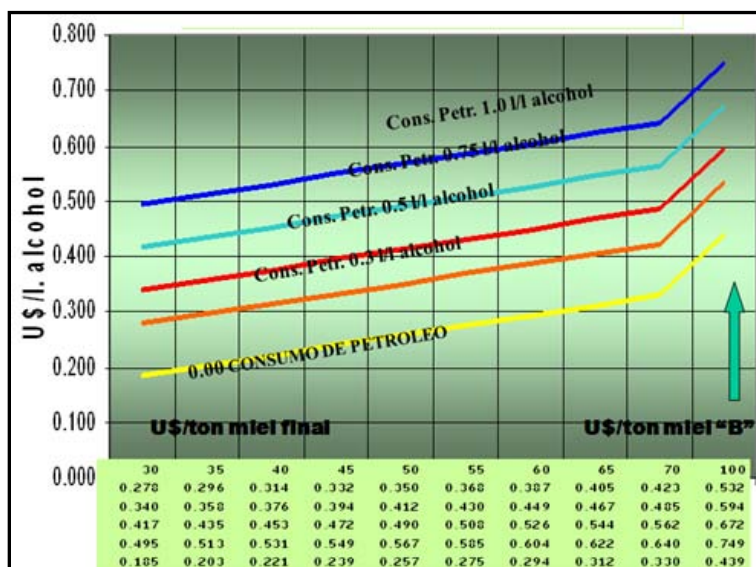


Figura 5.4 Comparación de costos de producción de etanol (Enríquez, 2005)

### 5.4 Biodiesel

El uso del biodiesel en los vehículos automotores se debe apreciar como una alternativa para preservar los recursos petrolíferos del país y mitigar los gases de efecto invernadero, sin embargo desde el punto de vista de ahorro de energía se requieren hacer pruebas para evaluar el

impacto que tendría en el rendimiento de combustible; debido a que en la bibliografía consultada se observaron posiciones encontradas respecto a este tema.

En lo que respecta a las emisiones contaminantes, si bien es cierto que el uso de mezclas biodiesel – diesel permiten una reducción de éstas, no resulta lo mismo en la emisión de los NOx los cuales se incrementan. Aunque algunos fabricantes han desarrollado técnicas para mitigar este problema empleando diesel con muy bajo contenido de azufre (menos de 10 ppm).

Se considera que México cuenta con áreas de oportunidad para emprender proyectos que permitan la introducción del uso de biodiesel en vehículos automotores, principalmente en el ramo de vehículos automotores destinados al transporte de carga y pasajeros. Sin embargo para que estos sean viables se requiere contar con algunos elementos indispensables como concertar las estrategias necesarias entre el gobierno federal, gobiernos estatales, instituciones de investigación, fabricantes de vehículos automotores, agricultores, empresarios, así como las cámaras del autotransporte de carga y pasaje que permitan impulsar el uso masivo del biodiesel en nuestro país.

Como una medida indispensable para fincar las bases del desarrollo de una posible industria del biodiesel en México es necesario contar con mayores recursos aplicados a instituciones de investigación dedicadas a los biocombustibles (Vargas, 2007).

#### *Costo de producción de biodiesel*

A continuación la Tabla 5.3 se presenta un análisis de la sensibilidad del costo de producción del biodiesel respecto a la variación en el precio de la materia prima. Si bien la materia prima disponible a nivel nacional es el girasol, en función de la información disponible, se presenta este análisis a partir de la producción de soya.

**Tabla 5.3 Análisis de la sensibilidad del costo de producción del biodiesel a partir de la producción de soya (Gaudioso, 2003)**

Escenario de precios	Crudo de soya (US\$/Ton.)	Costo producción biodiesel (US\$/litro)
<b>Situación actual</b>	310	0.425
<b>Precio normal</b>	442	0.576
<b>Precio alto</b>	546	0.696
<b>Precio Bajo</b>	337	0.456

**Nota:** costo de producción de biodiesel salida de planta, sin impuestos.

A partir de estos resultados es posible concluir la fuerte sensibilidad del costo de producción del biodiesel respecto a variaciones en el precio de la materia prima.

Esto explica la falta de dinamismo de la producción de biodiesel a nivel mundial. La principal barrera al desarrollo de esta producción es el alto costo de la materia prima. Es por ello que el desarrollo de esta producción ha estado vinculado a políticas agrícolas, en un marco de políticas de apoyo a esta producción.

A efectos de proporcionar una “estimación preliminar” del monto requerido por concepto de apoyo a esta producción, se presenta a continuación una síntesis de los resultados obtenidos por parte del grupo de trabajo señalado anteriormente.

Supuesto: sustitución del 5% del consumo actual de diesel.

Producción: 40,000 Ton /año

Costos medios de producción: 400 US\$/m<sup>3</sup> biodiesel.

El precio de venta del biodiesel se estimó en un nivel similar al precio máximo de venta del diesel importado (precio CIF, sin impuestos) correspondiente al promedio histórico de los últimos años, el que se ubicó en 270 US\$/m<sup>3</sup> (supuesto: sustitución diesel importado).

Esto determina, de acuerdo a la diferencia entre el costo de producción del biodiesel y el precio de venta del diesel importado, un ingreso negativo de 130 US\$/m<sup>3</sup>. Este representa el monto que debería subsidiarse para promover el desarrollo de esta producción.

Es importante precisar que este cálculo se basa en una hipótesis de precio de 348US\$/Ton de aceite de girasol.

Por otra parte, los resultados que se presentan consideran una hipótesis de precio del diesel importado establecida en base al precio máximo correspondiente a los últimos 5 años. Por lo tanto, si se considera la evolución del “precio medio” del diesel importado, el mismo se ubicó en 166 US\$/m<sup>3</sup> (promedio de los últimos 5 años), por lo que el monto requerido por subsidio podría resultar superior al estimado como se muestra en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4 Precio máximo del diesel (Gaudioso, 2003)**

<b>Año</b>	<b>Precio máximo</b>	<b>Precio medio (US\$/m<sup>3</sup>)</b>
<b>1996</b>	212	171
<b>1997</b>	205	157
<b>1998</b>	163	115
<b>1999</b>	201	134
<b>2000</b>	284	228
<b>2001</b>	277	197

No obstante su costo más elevado, la justificación para encarar su producción y futura utilización descansa en objetivos que contemplan beneficios ambientales, el desarrollo de nuevos mercados para la producción primaria y para la industria y posibilidades alternativas de combustibles renovables. Por lo tanto, este mayor costo podría ser total o parcialmente neutralizado por los beneficios económicos y ambientales asociados a esta actividad.

En síntesis, se considera que es necesario profundizar en la evaluación económica de esta producción, en distintos escenarios de precios, e incorporar en la evaluación una valoración de las



externalidades asociadas a esta producción y la consideración de su tratamiento tarifario e impositivo. En este sentido, se encuentra en discusión por parte del Poder Legislativo un Proyecto de ley que plantea la necesidad de realizar estudios que permitan determinar las posibilidades y requerimientos para la producción y consumo de biodiesel y el régimen jurídico aplicable para el desarrollo de la producción, distribución y el consumo del combustible (Gaudioso, 2003).

El costo de biodiesel es más alto que el diesel. Actualmente, hay siete productores de biodiesel en los Estados Unidos. El biodiesel puro se vende aproximadamente entre \$1.50 USD y \$2.00 USD por galón. Los impuestos de combustible añaden aproximadamente \$0.50 USD por galón.

Si sólo el 38 % del equipo de tratamiento es asignado a los gastos de producción cuando la semilla de colza o aceites de girasol son usados, el costo por galón de disminuciones de biodiesel. También, el costo por galón de biodiesel de grasas de animal se disminuye si ninguno de los costos de inversión de proceso previo es asignado a los gastos totales de producción.

En la Tabla 5.5 se hace mención del costo por galón de la materia prima utilizada para la producción de biodiesel.

**Tabla 5.5 Costo por galón de biodiesel considerando diversas materias primas (Demirbas, 2009)**

Materia prima	Costo (USD/galón)
Grasa animal	1.35
Aceite de semilla de colza	1.46
Aceite de semilla de girasol	2.35
Aceite de soya	1.26

Estos gastos dependen de los precios de la biomasa usada y el tamaño y el tipo de la fábrica. Los gastos a corto plazo de la inversión para una planta 400-MWth son aproximadamente 150 €/kWth. A largo plazo, estos gastos pueden disminuirse hacia el 30 % para una planta más grande clasificada con una capacidad de entrada termal de 1000 MWTH, asumiendo las economías de escala. Otros factores importantes que determinan los costos de producción son la producción y el valor de los subproductos del proceso de producción biodiesel (Demirbas, 2009).

### 5.5 Biogás

La evaluación económica de la implementación y utilización de las energías renovables es un tema de importancia capital y ha sido abordado desde distintos puntos de vista por diversos autores en diferentes países del mundo.

La tecnología del biogás presenta características propias que hacen más complejo su análisis pues no sólo interviene en este caso el aspecto energético sino que también existe un importante impacto de difícil evaluación en sanidad, fertilización, mejoramiento de suelos,

alimentación de animales y mejoramiento de las condiciones de vida. Esto se debe fundamentalmente a que además de la producción de gas combustible el sustrato utilizado sufre una transformación a través del proceso fermentativo anaerobio.

Desde el punto de vista de la inversión inicial, la diversidad de modelos, sistemas y escalas empleadas de acuerdo al tipo de clima, sustrato, eficiencia requerida y disponibilidad de recursos técnicos y económicos no permiten una evaluación generalizada debiéndose realizar los estudios en forma particular.

Por los motivos enumerados precedentemente la evaluación de proyectos que involucren al biogás requerirán un estudio particular a nivel microeconómico en una primera etapa.

En el presente trabajo se desarrollará en forma preliminar una metodología general de evaluación considerando en particular los factores intervinientes y la evaluación de los insumos y productos generados en base a la experiencia suministrada por autores de distintos países con vasta experiencia en este tema.

*Factores a considerar*

Se analizarán los distintos factores intervinientes en las etapas críticas del sistema que tienen una significativa importancia en el análisis económico y social del biogás.

A fin de facilitar el análisis en la Figura 5.5 se exponen las etapas que intervienen en la obtención de biogás, los estudios de factibilidad deberán tener en cuenta cada una de ellas.



**Figura 5.5 Etapas intervinientes en la producción de biogás (Hilbert, 2005)**

En cada una de estas etapas intervienen factores, económicos, técnicos y humanos distintos debiéndose analizar para cada tipo de explotación a fin de determinar la viabilidad del proceso en su conjunto.

El análisis preliminar de todo tipo de tecnología debe tomar como punto inicial el aspecto humano. En este tema entran a jugar la capacidad de la mano de obra, el tiempo disponible que se puede dedicar a la nueva actividad y la predisposición a realizarla.

Estos factores se tornan limitantes en muchos lugares y establecimientos debido a la sobre carga de tareas y responsabilidades a cargo del personal y a la predisposición al manejo del estiércol o residuo que está condicionada al tipo de manipulación que se hacía del mismo, con anterioridad a la introducción de esta nueva técnica.

Se deberá por consiguiente buscar para el análisis un tipo de digestión que no altere en forma significativa las tareas y manejo que se venían realizando tratando de economizar la cantidad de horas/hombre para la operación.

Desde el punto de vista de la materia prima será necesario contar con un sistema de fácil recolección y manipulación evitándose en las zonas frías el lavado con agua de las instalaciones el cual produce grandes volúmenes con altas diluciones y bajas temperaturas.

El medio ambiente con sus características climáticas y de suelo condicionan el tipo de digestor a construir incidiendo también en la selección del modelo y el monto de la inversión inicial necesaria ya que existen parámetros que pueden ser modificados como la temperatura de funcionamiento, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de carga volumétrica los cuales están relacionados entre sí y determinan la eficiencia final del digestor y la energía neta disponible.

Dada la importancia que tiene en la determinación de costos y definición de la técnica a emplear analizaremos con mayor profundidad este aspecto.

Para las zonas templadas y frías existen dos opciones principales que deben considerarse a fin de dimensionar y diseñar el reactor. Estas opciones están determinadas fundamentalmente por la temperatura de trabajo del equipo pudiéndose optar entre temperaturas: ambiente 10°C a 25°C, mesofílica 30°C a 40°C, y termofílica 40°C a 55°C. El rango de temperatura en que finalmente trabaje el sistema, determinará el tiempo de permanencia de la materia en el digestor o tiempo de retención y la eficiencia de producción de biogás. En Tabla 5.6 se observa cómo se modifican cada uno de los parámetros enunciados.

**Tabla 5.6 Parámetros intervinientes en la producción de biogás (Hilbert, 2005)**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo de retención (días)</b>	<b>Eficiencia (m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> digestor)</b>	<b>Calefacción</b>
10-25	50-70	0.01-0.30	No
30-40	20-30	0.70-1.00	Si
40-55	10-20	1.00-2.00	Si

La modificación de los tiempos de retención tiene una directa influencia sobre el tamaño del digestor requerido para un mismo volumen de material a digerir con la consiguiente modificación de la inversión inicial necesaria.

El proceso no genera calor suficiente para elevar y mantener la temperatura por lo tanto se requerirán sistemas de calefacción, aislación y control en el caso de optarse por trabajar en el rango meso o termofílico. Estos sistemas y controles también inciden en los costos iniciales y de mantenimiento de los digestores.

Unido a estos factores fundamentales analizados, la tecnología empleada está sufriendo fuertes cambios y mejoramientos, también se esperan substanciales modificaciones en un futuro cercano que incidirán fundamentalmente sobre el costo del sistema y la eficiencia final.

Con respecto a los productos del sistema la correcta utilización tanto del biogás como del biofertilizante cobra significativa importancia pues será en definitiva la retribución a la inversión y

trabajos realizados. Existen distintas alternativas que deberán ser cuidadosamente evaluadas comparativamente desde el punto de vista técnico, económico y social para realizar una correcta elección.

Los costos clasificados como públicos tienen importancia vital para el desarrollo exitoso de esta técnica siendo los mayores montos, los involucrados en la asistencia técnica debido a la característica del medio rural y su extensión en el tiempo durante el cual se debe mantener este servicio. El mismo no puede ser soportado por la actividad privada en forma completa ya que los beneficios obtenibles del diseño y construcción de un equipo no son suficientes para solventar un asesoramiento a distancia como el rural. Estos costos podrán ser soportados por organismos estatales o por empresas privadas cuya ganancia no se limite a la venta del “digestor”, sino que se vean beneficiadas por el mejoramiento integral de la explotación o también por asociaciones de productores.

Los costos que se deberán considerar han sido clasificados en la Tabla 5.7 teniendo en cuenta todos los pasos intervinientes desde la recolección del sustrato hasta la utilización de los productos.

**Tabla 5.7 Clasificación de costos en la producción de biogás (Hilbert, 2005)**

<b>Costos asociados a la operación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño e instalación</li> <li>2. Materiales</li> <li>3. Mantenimiento</li> <li>4. Mano de obra</li> </ol>
<b>Costos públicos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unidades demostrativas</li> <li>2. Instalaciones de bajo riesgo comparativo y medidas de fomento</li> <li>3. Asistencia técnica</li> </ol>
<b>Costos de la materia prima</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mano de obra</li> <li>2. Equipos para transporte</li> <li>3. Materia prima, si se compra</li> </ol>
<b>Costos del empleo del efluente</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mano de obra</li> <li>2. Equipo para transporte</li> <li>3. Almacenamiento</li> <li>4. Transporte hasta el lugar de uso</li> </ol>
<b>Costos de uso del biogás</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Almacenamiento</li> <li>2. Distribución</li> <li>3. Adaptación de equipos</li> <li>4. Purificación</li> </ol>

En una primera etapa las unidades demostrativas tendrán una gran importancia debiéndose implementarlas con aporte del estado en su costo o financiamiento. Superada esta

primera etapa de conocimiento será necesario un incentivo bajo la forma de créditos subsidiados, desgravaciones, etc.; para comenzar una difusión a mayor escala dichos incentivos irán disminuyendo con el tiempo, una vez establecida esta técnica en el medio.

#### *Estudio de los insumos y productos involucrados*

La idea general de la evaluación sugerida podríamos denominarla en forma generalizada como la de “costo de oportunidad”. Esto implica que todos los insumos y productos sean valorados en relación a la pérdida sufrida en el objetivo perseguido que se hubiese producido de elegir la mejor alternativa posible fuera de la considerada, en este caso la tecnología del biogás. Este procedimiento implica definir cuáles son las alternativas posibles para los insumos y productos que intervienen las cuales las cuales variarán de acuerdo al lugar elegido, de allí la dificultad de dar una evaluación generalizada.

A continuación se va a analizar cada uno de los principales insumos y productos por separado:

#### *Materia prima*

La primera valoración que se le puede imputar al estiércol orgánico a digerir, sería su valor de mercado. Sin lugar a dudas la cantidad de esta materia prima que tiene un precio, no representa a la totalidad del residuo disponible y en muchos casos estos valores se encuentran deprimidos al no contar los vendedores con terreno u otras formas de uso rentables.

Otro criterio estaría dado por el uso potencial de la materia prima empleada como abono orgánico al suelo. Debido a que el efluente puede tener un uso equivalente con iguales o mejores características, este criterio será desarrollado en profundidad al analizar el efluente como producto. En algunos países otro uso alternativo sería el uso directo como combustible, en estos casos se valora de acuerdo al poder calorífico del material empleado, utilizando el costo que tendría reemplazarlo por un combustible convencional.

En los casos que el residuo represente un problema a eliminar de la explotación, ingresará al cálculo como un costo negativo, representado su uso en el digester un beneficio medible a través del costo insumido en darle otro tipo de tratamiento para su eliminación.

#### *Biogás*

El biogás como producto será evaluado comparándolo con los costos de otras fuentes de energía (incluyendo el costo de suministro). Esta comparación tendrá distintas características de acuerdo al tipo de energía sustituta considerada.

En el caso de la electricidad, se deberá tener en consideración la energía disponible en las instalaciones del lugar, ya que si su potencia está subutilizada, el costo de la energía será distinto a la que correspondería si se debe ampliar el equipo existente para satisfacer la nueva demanda. En la práctica estas diferencias se ven minimizadas por las tarifas unitarias, subsidios, promoción y el componente de los impuestos contenido en ellas, dependiendo en última instancia de la política seguida por la empresa suministradora o el gobierno local. Un costo adicional de importancia estará dado por la distancia al lugar de suministro debido a la alta inversión demandada por el tendido de nuevas líneas y las pérdidas de energía en la transmisión.

#### *Efluente*

La evaluación deberá partir, si existiera, del costo de la materia prima empleada. El estiércol puede tener un valor de mercado como abono orgánico, en ciertos lugares este valor sólo cubre el costo de limpieza y retiro del material del establecimiento no aportando ningún ingreso en moneda al productor. Hay situaciones en que el estiércol constituye un problema a eliminar a un determinado costo, siendo su precio en estos casos “negativo”.

Algunos analistas le dan al estiércol un costo de oportunidad por no poder utilizarlo directamente como abono orgánico, este criterio queda invalidado al tener el efluente iguales o mejores usos que el estiércol fresco. Los estudios indican que el efluente de los digestores tiene mayor poder fertilizante que el estiércol sin tratar.

Un análisis que si se debe ser realizado, es la comparación de este tipo de tratamiento con otro alternativo como ser el composteo.

Una aproximación al valor del efluente como producto surge de su análisis en cuanto al contenido de los principales macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) llevado esta a cantidades fijas se las compara con el precio de estas mismas cantidades de macronutrientes suministradas a través de fertilizantes químicos que estén a disposición en el mercado.

Una serie de dificultades se presentan con este método usado con frecuencia:

- a) La composición del efluente no puede ser considerado constante ya que varía con la materia prima utilizada y el tratamiento previo durante y después de la digestión.
- b) Los precios de mercado de fertilizante no reflejan los costos sociales de producción de divisas involucradas en su obtención. Diferentes métodos se han ensayado para tratar de reflejar la incidencia de estos factores en el precio, como el aplicar precios internacionales y/o adicionar un precio sombra en base al porcentaje del costo que implique gastos en divisas.
- c) No es correcto atribuir la misma influencia sobre el terreno y el cultivo a cantidades equivalentes de elementos químicos aplicados a través de un fertilizante de este origen y uno orgánico, debido a que este último tiene una marcada influencia sobre otros factores, como ser la estructura, la capacidad de retención de agua y de intercambio del suelo.

Una medida real estaría dada por el efecto final de la aplicación del efluente sobre los cultivos comparándola con la utilización del estiércol en su forma natural o con algún tipo de tratamiento, como el composteo. Esta sería la forma más correcta, pero al mismo tiempo la más difícil de evaluar debido a la multiplicidad de factores intervinientes, la falta de información confiable y la relatividad de los precios involucrados.

La integración del digestor con otras actividades de la explotación ocasionará ingresos suplementarios, como por ejemplo: El uso del efluente en la alimentación animal, la cría de algas y peces. El aporte real de estos subsistemas estará dado por el valor de los productos producidos menos los costos de construcción, operación y mantenimiento de los mismos. La medición de estos beneficios en términos físicos aún no ha sido evaluada en forma precisa, interviniendo en ella muchos factores de difícil control.

Para los dos últimos productos analizados (biogás y efluente) se deberá tener en cuenta que la justificación del proyecto no deberá limitarse al ahorro en combustibles o fertilizantes que

se logren sino que además influirá el incremento de esos bienes que se hacen accesibles al productor.

Esta demanda que antes del proyecto no puede ser satisfecha a los precios vigentes de esos bienes, podrá serlo al costo que demandará a través del uso de la nueva tecnología; por lo tanto una forma de evaluar este fenómeno consistirá en aplicar a la nueva cantidad de energía o fertilizante demandado, el precio del mercado.

#### *Generación de empleo*

La valoración de la mano de obra no es homogénea debido a que las tareas a realizarse demandarán diferentes niveles de preparación del personal involucrado y por lo tanto su costo de oportunidad no será equivalente. Será necesario realizar una real valoración de la mano de obra empleada, a pesar de no ser prolongado el tiempo requerido, en determinado tipo de explotaciones el personal se encuentra ocupado a su máxima capacidad, representando la atención del digestor un alto costo de oportunidad valorado a través de la actividad que se deba dejar de realizar.

#### *Capital*

Este insumo ha sido tratado extensamente en los manuales de evaluación de proyectos principalmente en cuanto a su costo de oportunidad y tasa de descuento aplicable. De todos los insumos analizados este es sin duda el que presenta la mayor diversidad de usos alternativos debiéndose tomar como indicador la retribución al capital usualmente utilizada en este tipo de evaluaciones. Los proyectos deberán tender a minimizar el monto de las inversiones iniciales ya que el capital necesario no estará disponible debiéndose recurrir a las fuentes de financiamiento convencionales. Al intervenir los préstamos se hace importante analizar el flujo financiero de manera que el pago de los mismos esté garantizado por los beneficios a obtener. El peso de los beneficios sociales tendrá que ser afrontado por el Estado a través de la inclusión de tasas subsidiadas en dichos préstamos.

#### *Otros productos*

Existen otros productos generados a raíz de la aplicación de esta tecnología con particulares problemas de cuantificación y valoración. Una de ellas es la reducción de transmisión de enfermedades a través del adecuado tratamiento de los desechos. En este caso será muy difícil evaluar la influencia o el aporte dado a la sanidad general por la inclusión de la nueva técnica debido a la multiplicidad de factores intervinientes. Una forma de evaluarlo estará dado por el costo que insumiría un tratamiento que brindase los mismos beneficios en cuanto descontaminación (Hilbert, 2005).

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

Existen de manera un número creciente de proyectos en desarrollo y en proceso de ejecución en México más específicamente en los estados de México, Guerrero y Oaxaca. La mayoría de los proyectos son de carácter académico y no por ende se ven reflejados en el desarrollo de la biomasa en México. Esto se debe a la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

Otro de los factores que limitan el desarrollo de la biomasa en México es la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México. Esto se debe a la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

Con base en lo anterior se propone la creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México. Esto se debe a la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.

La creación de centros de investigación e investigación capacitación para el uso de la biomasa en México es de suma importancia, ya que el desarrollo y uso de la biomasa en México se ve limitado por la falta de información y conocimiento de los recursos y tecnologías disponibles en México.



### Programa Estratégico

El CECADESU dirige y coordina programas de educación, capacitación y comunicación para la preservación del equilibrio ecológico, la protección del medio ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del país, y contribuir a la formación de una población informada, sensible y consciente del medio ambiente, promoviendo la capacitación para el



La creación de centros de desarrollo, investigación y capacitación para el uso sustentable de biomasa en México es de suma importancia, ya que el dar asesoría y soporte técnico a los usuarios de bionenergía da como resultado un mejor aprovechamiento de los recursos y tecnología usados en dichos proyectos.

Tratar de mantener un monitoreo constante de proyectos en desarrollo y en marcha deriva en obtener datos más confiables sobre los posibles efectos ambientales que conlleva el uso de biomasa. Lamentablemente en las instituciones gubernamentales en México trabajan por metas y no por impactos reales, menos aún si éstos son sociales, ya que de hacerlo así estas acciones implicarían un costo adicional al evaluar del desempeño de los proyectos. Esta situación ha favorecido la reproducción de errores y vicios que le restan eficiencia y efectividad a los esfuerzos por atender a la población y la industria, además, ha impedido detectar los éxitos, virtudes y puntos fuertes, que sin duda, todos los programas pueden aportar en su operación.

Otro aspecto que cabe mencionar es que estos centros pueden llegar a ser fundamentales en cuanto al uso correcto de las tecnologías adquiridas, brindar asesoría a las personas o industrias que deseen implementar proyectos de biomasa y evitar abusos. Ya que quizás alguna empresa dedicada a la implementación de proyectos de biomasa o a la venta de equipos que son usados en dichos proyectos pudiera aprovecharse de la falta de conocimientos del usuario y vender productos que no son los adecuados a las necesidades del proyecto solo con afán de vender su tecnología, y pudiera llegar a ser obsoleta o que presente fallas en su funcionamiento. Con base en estas premisas, el apoyo a los centros de capacitación y asesoría para el uso de la biomasa resulta ser importante ya que constituiría una forma de defensa de los usuarios y contribuiría a un mejor uso de la biomasa.

En México, existen pocas instituciones dedicadas a dichos propósitos, y que no tienen la capacidad suficiente para atender todos los casos del país. A continuación se mencionan algunas de las instituciones dedicadas al desarrollo, investigación y capacitación para el uso sustentable de biomasa en México.

### **6.1 Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU)**

El Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU) es un órgano de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en México, que diseña proyectos, programas y estrategias que promueven acciones para impulsar una cultura de respeto y cuidado del medio ambiente en la sociedad mexicana, utilizando como herramientas fundamentales la educación ambiental, la capacitación para el desarrollo sustentable y la comunicación educativa.

La institución desarrolla programas educativos dirigidos a todos los niveles para promover la adquisición de capacidades para el cuidado del medio ambiente; programas de formación y capacitación para diversos públicos, así como seminarios, talleres, exposiciones, foros, publicaciones y materiales didácticos.

#### *Programas Estratégicos*

El CECADESU dirige y coordina procesos de educación, capacitación y comunicación, para la preservación del equilibrio ecológico, la protección del medio ambiente, y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del país, y contribuir a la formación de una sociedad informada, sensible y consciente del medio ambiente, logrando que la capacitación para el

desarrollo sustentable, la educación ambiental y la comunicación educativa. También elabora programas educativos dirigidos a todos los niveles educativos para promover la adquisición de capacidades para el cuidado del medio ambiente y fomentar una cultura ambiental. Promueve programas de formación y capacitación para diversos públicos, así como seminarios, talleres, exposiciones, foros, publicaciones y materiales didácticos.

El CECADESU impulsa la creación de políticas públicas en materia de educación ambiental en el ámbito nacional con el fin de lograr que la sociedad mexicana tenga una cultura ambiental que le permita revertir el deterioro ambiental y con ello dejar a las presentes y futuras generaciones un México con calidad ambiental y desarrollo sustentable. Para atender y coordinar estas acciones el CECADESU estructura y establece una serie de Programas Estratégicos y Específicos, por medio de los cuales atiende la misión encomendada, siendo estos:

#### Programas Estratégicos

- Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable
- Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México
- Planes Estatales de Educación, Capacitación y Comunicación Ambientales
- Programa Ambiental de la Juventud (PAJ)
- Áreas Naturales Protegidas
- Especies en Peligro de Extinción
- Cambio Climático
- Pro Árbol
- Agua
- Residuos Sólidos (México Limpio)
- Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable en las Instituciones de Educación Superior
- Programa de Capacitación Rural
- Programa de Capacitación Municipal
- Programa de Cultura Ambiental
- Programa de Comunicación Educativa
- Programa Editorial
- Programa para la Frontera Norte
- Ciudadanía Ambiental Global

#### Programas Específicos

- Programa GLOBE
- Carta de la Tierra
- Jóvenes por un Consumo Sustentable
- Escuela Limpia
- Programa de Comunicación, Educación y Concienciación del Público sobre Humedales (CECOP)

#### Líneas temáticas

- Cambio Climático
- Agua y Bosques

- Residuos y Reciclaje
- Jóvenes
- Consumo y Producción Sustentable
- Agricultura Sustentable
- Ecoturismo
- Conservación de los Ecosistemas
- Humedales

#### *Centros Regionales de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CREDES)*

Los centros regionales de educación y capacitación para el desarrollo sustentable (CREDES), son una instancia regional del CECADESU. Su propósito es promover, apoyar y concertar actividades y programas de educación y capacitación ambiental que impulsen la protección y el mejoramiento del medio ambiente, así como el aprovechamiento de los recursos naturales de acuerdo con los cambios que conlleva el desarrollo sustentable. Los CREDES se encuentran ubicados en: Pátzcuaro, Michoacán y Mazatlán, Sinaloa.

Sus actividades están dirigidas a diferentes grupos sociales para favorecer nuevos valores, conocimientos y actitudes mediante las estrategias siguientes: capacitación a grupos de base; educación ambiental; fortalecimiento institucional y difusión de la cultura ambiental.

#### *Centros Comunitarios de Información y del Conocimiento Ambiental*

Como parte de la estrategia de fomento de una cultura ambiental en la sociedad mexicana, el CECADESU ha establecido los "Centros Comunitarios de Información y del Conocimiento Ambiental" por medio de los cuales se proporciona a la comunidad los instrumentos y herramientas necesarios para tener acceso a la información y el conocimiento ambiental, por medio de:

- Acceso al acervo especializado por medio del centro de información
- Acceso a redes de información y el aprendizaje a distancia por medio de Internet

Los Centros Comunitarios se ubican en los CREDES, como parte integral de los servicios que se proporcionan:

- Achoque en Pátzcuaro, Mich.
- Mazatl en Mazatlán, Sin.

#### *Administración de proyectos*

El módulo de Administración de Proyectos, es el medio el cual se capta, evalúa, promueve, apoya y ejecutan proyectos con cobertura nacional, en materia de Educación Ambiental, Capacitación para el Desarrollo Sustentable y Comunicación Educativa.

Si se desea promover un proyecto, se requiere contactar al responsable de educación y capacitación en la Delegación Federal de la SEMARNAT de la entidad federativa correspondiente o bien en las áreas técnicas del CECADESU, siendo esta, la única vía por la cual los proyectos podrán registrarse y ser evaluados por el Comité Técnico.

### *Estrategia de educación ambiental para la sustentabilidad en México*

A partir de 2005, se inicia el Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable (DEDS), mismo que surge como compromiso de nuestro país ante la UNESCO durante la cumbre de Johannesburgo. Para el sector educativo oficial, así como para todas las organizaciones no gubernamentales e instituciones educativas, el Decenio es un tema muy relevante, debido a que marca una diferencia de enfoque en el abordaje de la educación. En este marco, la SEMARNAT a través del CECADESU, encabezan con la Secretaría de Educación Pública, un programa para instrumentación del DEDS en México.

Un paso en la instrumentación del Decenio, es el desarrollo de la Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México y a este respecto es importante señalar, que el desarrollo de los Planes Estatales de Educación Ambiental, Capacitación y Comunicación Educativa para el Desarrollo Sustentable que se han impulsado en cada estado, han sido la base para la construcción de la misma. La construcción de la Estrategia Nacional involucro varias etapas de consulta pública y especializada que fueron concluidas a finales de 2005. El objetivo y producto final, es un documento sólido, construido y alimentado por la diversidad de enfoques, experiencias e iniciativas provenientes de cada rincón del país. Es importante señalar que la publicación de la Estrategia Nacional de Educación Ambiental y de los treinta y un Planes Estatales, será uno de los logros más relevantes de la SEMARNAT en materia educativa.

El proceso de construcción de la Estrategia Nacional se inició con el taller "Hacia la construcción de una estrategia nacional de educación ambiental para el Decenio" el cual se llevó a cabo en la ciudad de Aguascalientes, en el marco del Encuentro Nacional "Diez Años para Cambiar al Mundo" y generó ideas rectoras que fueron tomadas en cuenta para la elaboración de un documento preliminar por parte de un equipo de especialistas. Las conclusiones del taller abarcaron aspectos relacionados con la estructura de funcionamiento y cronograma para la elaboración de la Estrategia; el sentido final y objetivo de la misma; las ideas y contenidos, así como los elementos necesarios para garantizar su operación. Uno de los aspectos que más se enfatizaron en las cuatro mesas instaladas para la discusión, fue la importancia de impulsar la participación amplia e incluyente de representantes estratégicos de los sectores social, público, educativo, privado, así como de los medios de comunicación en el marco de un proceso con cobertura y enfoque nacionales, abierto, democrático, intersectorial e interdisciplinario

Una vez concluido el foro se procedió a la integración del documento preliminar de la estrategia, para ello se convocó a un grupo de expertos en educación ambiental. En este documento se incorporaron los elementos aportados por los Planes Estatales de Educación Ambiental, Capacitación y Comunicación Educativa para el Desarrollo Sustentable, así como por el Plan Nacional de Desarrollo, los Programas Sectoriales de Medio Ambiente y Educación y otros documentos vinculados al tema en el ámbito nacional e internacional.

Para el éxito de este proceso, fue esencial para el CECADESU haber contado con la participación activa de todos los sectores interesados. Por esa razón, también se puso en marcha un proceso de consulta nacional que incluyo el trabajo en las comisiones estatales de educación ambiental y eventos regionales. Así, fueron programados talleres regionales de consulta, en las Zona Norte, Zona Sur y Zona Centro. Adicionalmente, en colaboración con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí se instalo un Foro Electrónico en el que las personas, organizaciones o instituciones hicieron llegar sus comentarios y sugerencias adicionales. Las aportaciones de todos los sectores permitieron integrar la versión final del documento, enriquecido con las

aportaciones derivadas de las experiencias y enfoques recogidos y analizados durante el proceso de consulta. Finalmente se procedió a la consulta con el Consejo Técnico del DEDS (SEMARNAT, 2008b).

## **6.2 Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA)**

El Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), inaugurado el 25 de noviembre de 1997, es resultado de la cooperación de los gobiernos de México y Japón, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). El Centro tiene el compromiso de promover y realizar investigación experimental en los campos de: Contaminación atmosférica, residuos, sustancias tóxicas, sitios contaminados y transgénicos; proponer especificaciones técnicas, bases de diseño, protocolos de operación, manejo de datos de los sistemas de monitoreo atmosférico; evaluar la operación y aseguramiento de la calidad de los sistemas de monitoreo atmosférico; promover, coordinar y supervisar el establecimiento de sistemas de monitoreo de la contaminación atmosférica en las entidades federativas; contribuir en procesos para el fortalecimiento de capacidades de los funcionarios y técnicos de los tres niveles de gobierno; participar activamente en foros e investigaciones tanto a nivel nacional como internacional, para constituirse en un referente confiable de información científica.

La solución a problemas ambientales, la protección de los recursos naturales, garantizar un ambiente adecuado para el desarrollo sustentable son retos que motivan a continuar con redoblados esfuerzos las acciones de investigación y generación de datos ambientales. Genera información técnica y científica en los campos de contaminación atmosférica, residuos, sustancias tóxicas, sitios contaminados y transgénicos que apoye la toma de decisiones de las autoridades ambientales y fortalezca la capacidad de respuesta de funcionarios y técnicos mexicanos. Las ramas en que se divide el CENICA para lograr sus estudios se describen a continuación:

### *Dirección de investigación en monitoreo atmosférico y caracterización analítica de contaminantes*

Esta dirección se ubica dentro de la estructura de la Dirección General del CENICA y tiene bajo su responsabilidad la instrumentación del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) cuyo objetivo es instaurar un programa de evaluación de la calidad del aire a nivel nacional que garantice un diagnóstico confiable sobre los niveles de contaminación atmosférica y permita establecer una vigilancia del estado de la calidad del aire en las principales zonas urbanas en el país.

### *Dirección de investigación experimental en contaminación atmosférica*

Debido al problema que actualmente representa la contaminación atmosférica para la salud humana y el impacto sobre los ecosistemas y áreas naturales, es indispensable que la SEMARNAT cuente con los recursos, tanto humanos como de infraestructura, para identificar y caracterizar con detalle los problemas de contaminación atmosférica, y que a partir de la información generada se diseñen e implementen eficazmente las políticas y medidas necesarias para el control y mejoramiento de la calidad del aire, esto en coordinación con las autoridades estatales y municipales. Por lo que, es necesario el desarrollo de estudios de investigación científica que generen conocimiento sobre los niveles y tipos de contaminantes atmosféricos de origen antropogénico y natural presentes en zonas urbanas y rurales, que permitan formular e implementar normatividad y planes de acción tendientes a la prevención y control de la

contaminación atmosférica que impacten en la protección de la salud humana y de los ecosistemas.

Esta Dirección se ubica dentro de la estructura de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental y tiene como atribuciones el planear, coordinar, dirigir, evaluar y realizar proyectos de investigación científica en materia de caracterización de las emisiones atmosféricas provenientes de fuentes industriales, vehiculares y naturales en el país; así como estudios relacionados con el transporte de contaminantes derivados de estas emisiones y su impacto sobre áreas y recursos naturales, con el propósito de obtener la información científica y técnica relevante que sustente el desarrollo normativo, de gestión ambiental y la toma de decisiones de las autoridades ambientales.

*Dirección de investigación en residuos y sitios contaminados*

Desarrollar investigación científica y tecnológica para generar información confiable y oportuna que permita dar solución a necesidades específicas sobre el manejo adecuado de residuos, sustancias tóxicas y remediación de suelos contaminados, con objeto de respaldar la toma de decisiones de funcionarios de los 3 órdenes de gobierno mediante una participación comprometida con la prevención del deterioro del ambiente y la mejora de la calidad de vida de la población. Realizar investigación aplicada y dirigir estudios en el ámbito de las sustancias tóxicas, el manejo integral de residuos y la remediación de sitios contaminados, así como evaluar las innovaciones tecnológicas y fortalecer las capacidades técnicas de distintas dependencias y entidades, participando a la vez en la formulación e implementación de políticas, programas, normas y reglamentos en la materia.

*Subdirección de apoyo técnico y capacitación ambiental*

Atribuciones de la Subdirección de acuerdo al Reglamento Interior vigente de la SEMARNAT publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 21 de enero de 2003:

VII. Establecer vínculos de colaboración con centros de investigación similares establecidos en otros países y fomentar la cooperación técnica en temas relacionados a la prevención y control de la contaminación y el manejo de residuos peligrosos, con la participación de la Unidad Ejecutiva de Asuntos Jurídicos y Enlace institucional.

X. Proponer a las unidades administrativas competentes de la secretaría, el desarrollo de métodos analíticos y procedimientos de control y aseguramiento de calidad en los procesos de medición y caracterización de contaminantes atmosféricos.

XIV. Generar datos, proporcionar y diseminar información científica sobre presencia y cantidad de contaminantes y residuos peligrosos en suelo y aire a nivel nacional.

XV. Organizar, en coordinación con las unidades administrativas competentes de la Secretaría, programas de capacitación técnica y científica en materia de contaminación atmosférica, de manejo de materiales y residuos sólidos y peligrosos y, de técnicas analíticas para profesionales mexicanos de los sectores público, privado y académico (CENICA, 2008).

### **6.3 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)**

El INIFAP es una Institución de excelencia científica y tecnológica con liderazgo y reconocimiento nacional e internacional por su capacidad de respuesta a las demandas de conocimiento e innovaciones tecnológicas en beneficio agrícola, pecuario y de la sociedad en general. A través de la generación de conocimientos científicos y de la innovación tecnológica agropecuaria y forestal como respuesta a las demandas y necesidades de las cadenas agroindustriales y de los diferentes tipo de productores, contribuye al desarrollo rural sustentable mejorando la competitividad y manteniendo la base de recursos naturales, mediante un trabajo participativo y corresponsable con otras instituciones y organizaciones públicas y privadas asociadas al campo mexicano. Contribuye al desarrollo productivo, competitivo, equitativo y sustentable de las cadenas agropecuarias y forestales, mediante la generación y adaptación de conocimientos científicos e innovaciones tecnológicas y la formación de recursos humanos para atender las demandas y necesidades en beneficios del sector y la sociedad en un marco de cooperación institucional con organizaciones públicas y privadas.

#### *Centros de investigación*

La institución tiene presencia a lo ancho y largo del país y a través de la Investigación Científica que se realiza en los Centros de Investigación Regional (CIR) y la formación interdisciplinaria que se tiene en los Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria (CENID), cubre las diferentes regiones agro ecológicas.

El INIFAP cuenta con 8 Centros de Investigación Regional (CIR'S) y 38 campos experimentales en donde se encuentra nuestro equipo de investigadores altamente capacitados en las diversas disciplinas, quienes en sus proyectos de investigación buscan generar soluciones a los problemas agropecuarios y forestales que se hayan planteado. Así mismo, el INIFAP cuenta con 5 Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria (CENID'S), los cuales se caracterizan por su alto grado de especialización en una disciplina en particular. En estos centros se concentra personal científico especializado a nivel nacional, quienes generan conocimientos y metodologías de punta. Para desarrollar los proyectos de investigación, en INIFAP se fomenta la actualización continua del equipo de trabajo que integra la institución. En estos centros de Investigación se concentran 769 investigadores, de los cuales, el 14% tienen nivel de licenciatura, el 51% maestría y el 33% Doctorado (INIFAP, 2008).

### **6.4 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)**

La SAGARPA facilita y crea el entorno necesario para detonar el desarrollo, promover un verdadero espíritu de cambio en la visión de los sectores que componen nuestro ámbito y poder transformarlos de acuerdo al ritmo que marcan los nuevos tiempos. Apoya el desarrollo de los sectores agropecuario y pesquero de modo que tengan un desempeño rentable y competitivo, con dinámicas de desarrollo sustentable a largo plazo en el orden económico, social y comprometido con la conservación de los recursos naturales. Por ello están empeñados en tener un papel muy activo en las actividades de fomento económico del desarrollo agrícola, ganadero y pesquero. Cuenta con programas dedicados al apoyo de proyectos rural, en los cuales se usa biomasa, a continuación se mencionan algunos de ellos:

#### *a) Programa de Soporte*

Componentes: Sanidades, inocuidad y calidad.

- Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS)
- Innovación y transferencia de tecnología
- Capacitación
- Planeación y prospectiva (ejecución nacional)
- Promoción comercial (ejecución nacional)

#### Tipo de Apoyos

Se da apoyo a personas físicas o morales, que de manera individual o colectiva, se dediquen a actividades agrícolas, pecuarias, acuícola, pesqueras, agroindustriales. Entre éstas se incluyen: organizaciones, sociedades o asociaciones formalmente constituidas, universidades e instituciones de investigación y enseñanza, fundaciones PRODUCE, Consejos para el Desarrollo Rural Sustentable (CDRS), Comités Sistema Producto, diversos organismos auxiliares como por ejemplo los de sanidad animal o salud vegetal, Entidades Federativas, así como también los Comités de Inspección y Vigilancia.

#### *b) Fomento a la Organización Rural*

##### *Componentes*

- Apoyo a las organizaciones sociales del sector rural
- Sistemas Producto

##### *Sujetos de Apoyo*

Las organizaciones Sociales del sector rural, legalmente constituidas, sin fines de lucro y cuyo objeto social contemple la representación de sus integrantes en los foros e instancias creadas para la participación del sector rural.

- Comités sistema producto nacionales, estatales y regionales, integrados de acuerdo a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable que cuenten con figura jurídica propia.

##### *Montos y tipos de Apoyo*

Para Organizaciones Sociales:

Máximo cinco millones de pesos por año.

Los apoyos se destinarán al desarrollo de su plan anual de fortalecimiento, que incluye los siguientes conceptos:

1. Profesionalización. Para pago de los gastos destinados a la especialización de los profesionistas que le presten sus servicios permanentemente.
2. Equipamiento. Contempla: Mantenimiento y conservación de instalaciones considerando: los materiales de construcción, estructuras y manufacturas, materiales complementarios, material eléctrico y electrónico; programas de cómputo, refacciones y accesorios para el equipo de cómputo.



3. Difusión. Para pago de bienes y servicios relacionados con promoción de la organización; como congresos, foros, asambleas, mesas de trabajo y talleres.

4. Gastos operativos. Para la operación general de la organización y no imputables a los anteriores y hasta por un 20% del total del apoyo autorizado..

Para Comités Sistema Producto:

a) Conceptos de Apoyo: Profesionalización, equipamiento, difusión y gastos de operación.

b) Se podrá asignar por año hasta un máximo de dos millones de pesos y, hasta 500 mil pesos a los de cobertura estatal o regional.

c) También se otorgarán apoyos para que institucionalmente se proporcione asesoría en la elaboración y seguimiento a planes rectores.

#### *c) Uso Sustentable de Recursos Naturales para la Producción Primaria*

##### Componentes

- Conservación y uso sustentable de suelo y agua
- Recursos fitogenéticos y biodiversidad
- Ganadero (PROGAN)
- Bioenergía y fuentes alternativas
- Reconversión productiva
- Inspección y vigilancia pesquera

##### *Tipos de Apoyo*

1. Obras y prácticas para el aprovechamiento sustentable del suelo: Terrazas, presas filtrantes, cabeceo de cárcavas, muros de contención, barreras vivas, cortinas rompe Viento, surcado "lister", paso de rodillo aereador, cercado para división de potreros, cercado para establecimiento de áreas de exclusión, reforestación con especies nativas, guardaganados, labranza de conservación y acciones de drenaje.
2. Obras para el aprovechamiento sustentable del agua: Construcción de obras como bordos de tierra compactada, construcción de zanjas de infiltración, pequeñas presas (mampostería o concreto), ollas de agua, aljibes, tanques de almacenamiento. Instrumentación de planes integrales para el uso eficiente del agua mediante obras y acciones para su conservación, mejoramiento y aprovechamiento, orientados a la reconversión tecnológica y productiva.
3. Servicios para la conservación y uso de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura originarios de México y recursos pecuarios de importancia biológica o económica, como son: Inventarios, bancos de germoplasma comunitarios, mejoramiento participativo.
4. Inducción de patrones de producción con menor impacto en los recursos naturales, con mayor potencial de producción y mercado en condiciones de recursos limitados: Establecimiento de cultivos acordes al potencial productivo regional para la reconversión productiva, sustituyendo: Cultivos anuales por perennes; de actividad agrícola a pecuaria; o de ésta a forestal Inducción para la conversión hacia cultivos con mejor aprovechamiento de las condiciones agroecológicas en regiones compactas, utilizando las ventanas de oportunidad

- de mercado; así como para la producción de biomasa para la generación de bioenergía (por ejemplo etanol).
5. Aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícola: Proyectos estratégicos por recurso pesquero o cuerpo de agua y de ordenamiento para el uso sustentable de las pesquerías, recursos pesqueros y acuícolas. Obras de uso común que atiendan a la conservación, rehabilitación y protección de los sistemas laguneros costeros y de aguas interiores en los que se encuentran los recursos pesqueros o beneficien la propagación de las mareas y restauren las áreas de pesca, por ejemplo: Dragados de boca-barras y canales interiores, la construcción de escolleras, arrecifes artificiales, borderías y muros de protección.
  6. Obras para el manejo de desechos orgánicos: Apoyo a la construcción, equipamiento y/o modificación de unidades especializadas para el manejo de los subproductos y/o desechos resultado de las explotaciones primarias (por ejemplo lagunas de oxidación en granjas de cerdos). Para estos apoyos existe una tabla de porcentajes sobre los montos de apoyo por cada componente que de acuerdo a las condiciones de marginación y el nivel de activos productivos de los solicitantes se aplica y que esta para su consulta en los CADER's, DDR's, Delegación SAGARPA, y oficinas que el Gobierno de cada estado establezca para tal fin, regionales y municipales (SAGARPA, 2008).

El cambio climático no se considera como un problema y una amenaza para los países desarrollados. La última década de análisis, discusiones y negociaciones ha demostrado la estrecha vinculación entre cambio climático y desarrollo sustentable. Es el caso de México, donde se han identificado las múltiples oportunidades que representa la participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo, pero sobre todo, el incremento en el empleo para aquellos sectores económicos que simultáneamente más dependen del empleo de mano de obra de la calidad de vida de sus propios habitantes, a la vez que contribuyen a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El comercio internacional es una de las principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> en el país, ya que cada año se importan y exportan bienes por un valor de 100 mil millones de dólares. El GEL, cada vez que se negocia un acuerdo comercial, debe tener en cuenta los impactos ambientales que se generen. Cada vez que se negocia un acuerdo comercial, debe tener en cuenta los impactos ambientales que se generen. Cada vez que se negocia un acuerdo comercial, debe tener en cuenta los impactos ambientales que se generen.



CONCLUSIONES

El comercio internacional es una de las principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> en el país, ya que cada año se importan y exportan bienes por un valor de 100 mil millones de dólares. El GEL, cada vez que se negocia un acuerdo comercial, debe tener en cuenta los impactos ambientales que se generen. Cada vez que se negocia un acuerdo comercial, debe tener en cuenta los impactos ambientales que se generen.

En el caso de México, se han identificado las múltiples oportunidades que representa la participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo, pero sobre todo, el incremento en el empleo para aquellos sectores económicos que simultáneamente más dependen del empleo de mano de obra de la calidad de vida de sus propios habitantes, a la vez que contribuyen a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El caso del comercio internacional es un ejemplo de que el comercio puede ser un mecanismo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países en desarrollo, ya que la mayor parte del comercio exterior se realiza con los países desarrollados.

El cambio climático no se considera como un problema que compete sólo a los países desarrollados. La última década de análisis, discusiones y negociaciones nos muestra con claridad el estrecho vínculo entre cambio climático y desarrollo sustentable. Es tarea de países como México, identificar las múltiples oportunidades que representa la participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo, pero sobre todo instrumentar a corto plazo aquellas acciones de política que simultáneamente nos brinden beneficios en la mejoría de la calidad de vida de nuestros habitantes, a la vez que contribuimos reduciendo nuestras emisiones de GEI.

El consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI en el país, ya que contribuye en promedio con 64% de las emisiones totales cada año, siendo el sector transporte y la generación de electricidad las principales fuentes de GEI. Dada esta circunstancia se deben orientar los esfuerzos para reducir las emisiones en estas dos áreas mediante programas y proyectos capaces de abatir de manera considerable dichas emisiones. Un claro ejemplo es el del metrobus en la ciudad de México, este proyecto ha logrado evitar la emisión de 29 mil toneladas de CO<sub>2</sub>, y se ha obtenido un bono de 120 mil euros debido a la reducción de GEI, lo cual es un buen incentivo para seguir implementando proyectos de este tipo en el sector transporte.

La sustitución total de combustibles fósiles por biocombustibles no es factible en México, debido a la falta de infraestructura económica y de insumos para la fabricación de biocombustibles para satisfacer la demanda que se tiene de combustible fósil, la intención de esta investigación no es la sustitución, sino considerar el uso de los biocombustibles para lograr la reducción del consumo de combustible fósil, lo cual deriva en una notable reducción de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes. Los biocombustibles no están exentos de emitir GEI, pero como lo muestran los estudios, las tienen pero en cantidad mucho menores que los combustibles convencionales, lo cual daría más tiempo a los gobiernos y planeta mismo para buscar implementar nuevas fuentes de energía para evitar un mayor deterioro atmosférico. Los biocombustibles no son en realidad la solución al problema, son una alternativa menos contaminante y renovable, su uso sólo reduce considerablemente el daño al planeta pero no lo evita.

En la actualidad, inclusive los países más desarrollados y con mayor promoción del uso de biocombustibles aún dependen considerablemente de los combustibles fósiles, hecho que respalda la teoría de que aun no existe una fuente de energía a gran escala capaz de superar las "ventajas" que ofrece el petróleo.

En el caso de México son pocos los esfuerzos realizados para emprender dichos cambios, pocas empresas han tomado las riendas para realizarlos debido a que implicaría una fuerte inversión económica. El uso de biocombustibles en México implica varios aspectos a considerar, desde el cambio de uso de suelo hasta concientizar a la población del problema del cambio climático y la emisión de GEI.

En el caso de la leña el sector residencial y rural no presentan grandes problemas, ya que el uso de leña es para actividades como cocinar y para la calefacción. Los problemas de deforestación se derivan de la tala clandestina que es utilizada para vender a compañías dedicadas a la fabricación de muebles.

El caso del carbón presenta el problema de que el gobierno prefiere comprarlo en el extranjero que invertir en equipos de extracción ya que la mayor parte del carbón extraído en

México es de mantos carboníferos de poca profundidad, estudios han demostrado que existen mantos carboníferos a gran profundidad, el problema radica en que el gobierno prefiere dar concesiones a compañías extranjeras para extraerlo y comercialarlo. El carbón en el país se utiliza principalmente para la generación de electricidad en plantas termoeléctricas. México tiene ventajas en recursos naturales sobre otros países, ya que cuenta con pozos geotérmicos, ríos con caudales ideales para proyectos hidroeléctricos, ventosas capaces de generar electricidad y mares que se podrían usar para el mismo propósito, dichos recursos podrían ayudar a reducir el impacto ambiental sobre la atmósfera, pero desafortunadamente se prefiere el uso del carbón y el petróleo para generar electricidad.

En el caso del biodiesel y el bioetanol, México tiene el clima y la tierra ideal para producir la materia prima para fabricarlos, el problema radicaría en tener que reducir el abasto de estos productos para el consumo y la exportación y dirigirlo a la producción de los biocombustibles, como el caso de Brasil donde se han devastado grandes áreas selváticas para utilizarse como campos de cultivo, dejando un grave impacto sobre el ecosistema del país. Resultaría difícil emitir un juicio sobre este polémico tema; no obstante, existen factores que invitan a reflexionar sobre la producción de etanol en México, pudiéndose señalar entre ellos, la necesidad de mantener un campo equilibrado capaz de hacer frente en unos cuantos años mas al reto de suministrar grandes cantidades de azúcar al principal mercado mundial al amparo del TLC, siempre y cuando los vecinos del norte no impongan sus conocidas salvaguardas, pero también se tiene considerar la opinión del experto en la producción azucarera en México, el Ing. Manuel Enríquez Poy, quien está en desacuerdo con la producción de etanol en México debido a que pondría en riesgo la seguridad alimenticia del país, ya que afirma que México si posee las condiciones agro-climáticas para la cosecha de caña de azúcar pero no cuenta con bastas extensiones de tierra que puedan dedicarse a la producción de dicho combustible, el hacerlo traería consigo el desabasto en la producción de azúcar y maíz y en la distribución de agua.

En el caso de la madera se debe considerar la mano de obra empleada en la recolección, que en horas/hombre tiende a aumentar por el alejamiento de las fuentes de suministro y por la depredación del recurso. El otro costo asociado al uso de la leña está representado por la deforestación, erosión e inundaciones, fruto de la primera. Teóricamente se podría llegar a estimar el daño y disminución en el rendimiento de los cultivos provocados por estos fenómenos. Otra metodología consistiría en imputarle a la leña el costo que representaría reemplazar la madera extraída con nuevas plantaciones de manera de mantener constante el recurso a lo largo del tiempo.

Los combustibles líquidos se valorarán de acuerdo al precio de los mismos puestos en el predio rural, si existiera este servicio, en caso contrario, se deberá adicionar al precio pagado en la ciudad el costo en tiempo y transporte insumidos. En el caso de este tipo de combustible existen subsidios encubiertos bajo las tarifas vigentes que en la mayoría de los casos son uniformes a lo largo de todo el territorio; estas diferencias entrarían a jugar en un análisis global energético.

El costo de producción del biogás se conformará fundamentalmente por los costos generados por el digester (amortización + interés sobre capital invertido + gastos de operación y mantenimiento + precio del sustrato). Para un análisis estricto sobre la faz energética de esta tecnología se deberán restar a estos costos los beneficios obtenibles del efluente y de la utilización que se llevará a cabo del dióxido de carbono en invernáculos (medible a través de

incrementos en la producción vegetal en estos ambientes controlados menos el costo de separación y conducción del dióxido de carbono).

El modo de utilización del biogás producido modificará su mercado y uso potencial ya que la compresión, almacenamiento y transporte lo haría disponible para otros usos (ej.: transporte) y más usuarios posibilitando su comercialización. En el caso del biogás, México ha implementado diversos proyectos, la mayoría relacionados con la obtención de metano a partir de excretas animales y a partir de rellenos sanitarios, siendo estos dos tipos de proyectos los que han dejado ganancias económicas debido a la obtención de bonos de carbono, aunque en la realidad estos proyectos tienen diversos problemas para generar los bonos de carbono, ya que continuamente sufren fallas los quemadores o inclusive se deja escapar el metano a la atmósfera ya que no se cuenta con estos equipos, aunado a esto también se reportan fallas en la producción de metano ya que debido a malos manejos y falta de capacitación para operar los digestores las cantidades de metano son menores a las esperadas. Se ha dejado de lado el tratamiento de aguas negras, no solo para obtener biogás, sino también para producir electricidad a partir de la colocación de motogeneradores en los caudales de los desagües.

En general el panorama del uso de biocombustibles en México es poco alentador, la principal causa es debido a las pocas oportunidades de obtener beneficios económicos de ellos. Otro problema radica en la confianza del gobierno en el uso de petróleo como la principal fuente de energía, soslayando las ventajas ambientales que tienen los biocombustibles debido a que para poderlos usar de forma masiva se tendría que hacer una fuerte inversión económica. Y por último, está la falta de conocimiento de la sociedad sobre el cambio climático y las posibles formas de revertir dichos cambios, hay que concientizar y educar a la población sobre estos temas para que en conjunto con los gobiernos se comiencen a dar los primeros pasos hacia la reducción del uso de hidrocarburos y el cuidado de nuestro planeta.

Los crecientes precios de combustible junto con preocupaciones sobre emisiones de carbono hacen la producción de biocombustibles más competitiva y atractiva. Hay implicaciones globales para el cambio hacia los biocombustibles, y en este papel de revisión, hemos destacado emisiones netas positivas de GEI, amenazas a bosques y diversidad biológica, aumentos en los precios de alimentos y la competencia por recursos acuíferos como los impactos claves negativos de empleo de biocombustibles. Por otra parte, también hemos mostrado que el desarrollo y el empleo de biocombustibles y tecnologías de producción pueden reducir el desgaste ambiental y social. Se puede concluir que cierto tipo de biocombustibles realmente representan fuentes potenciales de energía alternativa, pero su empleo tiene que ser atenuado con una evaluación comprensiva de sus impactos ambientales.

Una evaluación cuidadosa de gastos potenciales y ventajas de la gama de procesos de producción de biocombustibles es necesaria para formar una política más informada en el futuro. Junto con la conservación de energía, la eficacia de tecnologías como la solar, eólica, geotérmica y la hidroeléctrica, los biocombustibles deberían ser incluidos en una cartera diversa de fuentes de energía renovables para reducir nuestra dependencia en el suministro finito del planeta de combustibles fósiles y asegurar un futuro sostenible para nuestra especie.

Desde una perspectiva panorámica la producción de biocombustibles, el mercado y los consumidores han mostrado, que es claro que calificar y juzgar a los biocombustibles de una manera general conduce a un muy notable error. Las posibilidades para usar las tierras de cultivo en cada país, la evaluación de la seguridad alimenticia para la población, las metas para mejorar la calidad del aire en las grandes ciudades y la asignación de gastos de materias primas dependen (entre otros factores) de las economías locales, políticas regionales y principalmente del nivel de desarrollo alcanzado por cada país. Además, no todas las localidades tienen el potencial ambiental requerido (radiación solar, suelos fértiles, abastecimiento de agua) disponible en grandes escalas.

El agotamiento 'inminente' y los altos precios del petróleo y la necesidad de mitigar el efecto invernadero crean una tendencia mundial hacia el empleo masivo de biocombustibles, una alternativa que puede unir la seguridad energética con la conservación de ambiente sin comprometer necesariamente la alimentación de los seres humanos.

Sin embargo, es necesario considerar que los biocombustibles serán solamente una solución parcial al problema en cuanto a la disponibilidad de combustible automotriz. La solución global examina la posibilidad de electrificar el transporte, producir combustibles líquidos y gaseosos libres de carbono y el uso de energías renovables como el hidrógeno, vehículos impulsados por energía solar, junto con un cambio radical en nuestros hábitos de consumo.

El desarrollo tecnológico permitirá la implementación de estas opciones, limitada al biodiesel y al bioetanol (biocombustibles de primera generación), etanol celulósico, al metanol y el biohidrógeno, todo logrado con base en plataformas termo-químicas y con la conversión biológica de residuos lignocelulósicos (biocombustibles de segunda y tercera generación). Esto permitirá al empleo de las enormes cantidades de biomasa y una reducción al impacto sobre la producción de alimentos.

El análisis de ciclo de vida y los indicadores de sustentabilidad constituyen herramientas importantes para apoyar estos procesos de toma de decisiones en cuanto a los programas de producción de biocombustibles.

La lucha contra el hambre en el mundo contempla el desarrollo sustentable de regiones rurales, que permitirían al acceso a empleos e ingresos para millones de personas. Programas dirigidos al crecimiento plantas oleaginosas y la producción de biocombustibles podría contribuir con esta lucha, principalmente en áreas poco productivas.

Cuando el impacto de los biocombustibles sobre la seguridad alimenticia es evaluado, es importante hacer hincapié en que su producción sea sin el uso de cereales, caña de azúcar o plantas oleaginosas, que son usadas para el consumo humano. Un análisis internacional y regional del problema es obligatorio para definir si existen las condiciones locales para poner en práctica programas similares. Por otra parte, es necesario considerar el impacto de otros factores como los altos precios del petróleo, conflictos armados, catástrofes naturales y la erosión del suelo.

Brasil, por ejemplo, tiene condiciones de climatológicas y una disponibilidad de tierras y agua idóneas para el desarrollo de programas dirigidos a la producción de biocombustibles. Otro factor importante es la experiencia del país en la producción a gran escala, distribución y consumo de etanol sin el uso de caña de azúcar. Las plantaciones para la producción de biocombustibles no deben cambiar las actuales fronteras agrícolas, sus áreas deben ser ampliadas por un mejor empleo de la tierra, en este momento usadas para la ganadería.

El desarrollo y el uso de biocombustibles como una alternativa de impacto más alto y de viabilidad a corto plazo, no ignora o descalifica el uso de fuentes de energía no convencionales como el viento, la energía solar, geotérmica y de mareomotriz, que aún requieren un desarrollo tecnológico para que aumente su viabilidad .

La promoción de biocombustibles puede provocar problemas actualmente afrontados por países en vías de desarrollo. Aparte de reducir el fondo de alimento disponible en un nivel regional o nacional en estas economías en gran parte agrarias, esto conduciría a un aumento del precio de tal alimento que todavía logra encontrar su camino al mercado.

Economías agrarias confían pesadamente en el alimento producido dentro de la nación sí mismo o en el vecino sobre estados. Una cantidad grande a menudo es importada, que generalmente conduce a un aumento de la deuda nacional.

Mientras la confianza mayor sobre combustibles de biomasa podría promover el crecimiento económico en países en vía de desarrollo, no es claro (si actividades comparables como la minería de la actividad y la extracción petróleo) que el ingreso generado sería compartido equitativamente. Esto es lo que conocen como ' la Enfermedad holandesa ', por el cual la explotación de recursos naturales parece tener una relación con una disminución en el sector industrial, o sea en las formas tradicionales de agroindustria. Para poder comparar los beneficios de uso de biomasa como fuente de energía a continuación se dan a conocer los precios de los combustibles fósiles de mayor uso en México en Julio de 2009: El costo del diesel en México es de \$7.73 pesos por litro, la gasolina Premium \$ 7.72 pesos por litro, la magna \$7.62 pesos por litro, el gas LP \$4.96 pesos por kilogramo y \$135.42 pesos por giga Joule el gas natural.

Finalmente, se tiene que considerar de la posibilidad de países en vías de desarrollo que colocan un énfasis injustificado sobre la biomasa creciente para biocombustibles de la primera generación, sólo encontrar que la demanda se hace drásticamente atenuada como mejores tecnologías, sobre todo aquellos relacionando con biocombustibles de la segunda generación, hacerse disponible. Si esto ocurre, gastos de oportunidad significativos habrán sido incurridos. Esto también sostendría verdadero para aquellas comunidades agrarias en las naciones de OCDE que son decentemente cada vez más el dependiente sobre la producción de biocombustibles.

Las siguientes tablas muestran un resumen numérico y estadístico de los objetivos planteados al inicio de la tesis. Se dividen en dos partes: Potencial de la biomasa en México y Producción de biomasa en México.



## Potencial de la biomasa en México

Biomasa	Producción anual	Aprovechamiento en México	Seguridad alimenticia	Utilización de la biomasa en México
Leña	45 millones de m <sup>3</sup> /año	85 %	Alta	Calefacción, cocina y venta
Caña de azúcar	200,106.61 ton/año	90 %	Baja	Exportación y fabricación de alcohol, etanol y azúcar
Maíz	23,512,751.85 ton/año	100%	Baja	Exportación y fabricación de productos alimenticios
Semillas oleaginosas*	585,781.99 ton/año	60 %	Media	Exportación y fabricación de aceites vegetales
Aceite usado	650,000 lts/año	10%	Alta	Fabricación de biodiesel
Rellenos sanitarios	3,6500,000 ton/año	10%	Alta	Captura de metano
Granjas, mataderos y aguas residuales	850,000 ton/año	20 %	Alta	Captura de metano

## Producción de biomasa en México

Biomasa	Proceso de conversión	Producto	Producción anual	Rendimiento	Plantas y ubicación
Leña	Recolección y tala	Leña	45 millones de m <sup>3</sup> /año	1 m <sup>3</sup> → 4.9 GJ	Zonas boscosas y selváticas
Caña de azúcar	Fermentación	Bioetanol	167.4 millones de litros/año	1 ton → 70 lts.	8 Plantas ubicadas: 5 en Veracruz, 1 en Jalisco, 1 en Puebla y 1 en Chiapas
Maíz	Fermentación	Bioetanol	-	1 ton → 370 lts.	2 Plantas ubicadas en Sinaloa
Semillas oleaginosas*	Transesterificación	Biodiesel	7,200,000 lt/año	1 kg semillas → 0.4 lts.	Michoacán, Puebla, Nuevo León
Aceite Usado	Transesterificación	Biodiesel	585,000 lts/año	1 lt aceite usado → 0.9 lts	Fabricación de tipo casero
Rellenos sanitarios	Recolección de metano mediante un digestor	Biogás	26,071,428.5 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /año	1 ton desechos → 100 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	14: AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN., TLAX.
Granjas, mataderos y aguas residuales	Biodigestión	Biogás	85,000,000 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	1 Kg biomasa → 0.1 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	5 millones de granjas, 500 mataderos en AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.L.P., SON., OAX., TAMPS., VER., YUC.

**Producción de biomasa en México**

Biomasa	Financiamientos	Costo de producción	Reducción de CO <sub>2</sub> equivalente [KTons/año]	Ventajas con respecto al petróleo
<b>Leña</b>	Gobierno federal: Estufas eficientes	-	1,500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se evita la emisión de azufre óxidos nitrosos</li> </ul>
<b>Caña de azúcar</b>	Gobierno federal y empresas extranjeras	1.17 USD/lt	10,600	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una fuente de combustible renovable</li> <li>• Reduce dependencia del petróleo del extranjero</li> <li>• Es una fuente más limpia de combustible</li> <li>• Aumenta el octano del combustible con un coste pequeño</li> <li>• Virtualmente utilizable en todos los vehículos</li> <li>• Fácil de producir y almacenar</li> <li>• El bioetanol emite 40-80% menos de gases invernaderos que los combustibles fósiles</li> <li>• El bioetanol es superior medioambientalmente al resto de los carburantes más importantes</li> <li>• Reduce la formación de la lluvia ácida</li> <li>• Mejora la calidad del aire en zonas urbanas</li> <li>• No contamina el agua</li> <li>• Con su producción pueden reducirse los residuos</li> </ul>
<b>Maíz</b>	Gobierno federal y empresas extranjeras	1.50 USD/lt	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una fuente de combustible renovable</li> <li>• Reduce dependencia del petróleo del extranjero</li> <li>• Aumenta el octano del combustible con un costo pequeño</li> <li>• Virtualmente utilizable en todos los vehículos</li> <li>• Fácil de producir y almacenar</li> <li>• El bioetanol emite 40-80% menos de gases invernaderos que los combustibles fósiles</li> <li>• El bioetanol es superior medioambientalmente al resto de los carburantes más importantes</li> <li>• Reduce la formación de la lluvia ácida</li> <li>• No contamina el agua</li> <li>• Con su producción pueden reducirse los residuos</li> </ul>

## Producción de biomasa en México

Biomasa	Financiamientos	Costo de producción	Reducción de CO <sub>2</sub> equivalente [KTons/año]	Ventajas con respecto al petróleo
<b>Semillas oleaginosas</b>	Gobierno federal y empresas extranjeras	1.08 USD/lit	1,700	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de un 50% de las emisiones de monóxido de carbono (CO)</li> <li>• El potencial de destrucción de la capa de ozono se reduce en un 50%</li> <li>• Reducción total de las emisiones de óxidos de azufre</li> <li>• Reducción de un 40% de las emisiones de partículas en suspensión</li> <li>• Reducción de un 68% de las emisiones de hidrocarburos sin quemar</li> <li>• Reducción de un 3% de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>)</li> <li>• Reducción de más del 80% de hidrocarburos aromáticos</li> </ul>
<b>Aceites usados</b>	Gobierno federal y empresas extranjeras	0.9 USD/lit	200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de un 50% de las emisiones de monóxido de carbono (CO)</li> <li>• El potencial de destrucción de la capa de ozono se reduce en un 50%</li> <li>• Reducción total de las emisiones de óxidos de azufre</li> <li>• Reducción de un 40% de las emisiones de partículas en suspensión</li> <li>• Reducción de un 68% de las emisiones de hidrocarburos sin quemar</li> <li>• Reducción de un 3% de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>)</li> <li>• Reducción de más del 80% de hidrocarburos aromáticos</li> </ul>
<b>Rellenos sanitarios</b>	FIRCO, AgCert, EcoSecurities	0.1 USD/m <sup>3</sup>	1968	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El gas puede alimentar un motor que accione un generador de energía eléctrica. Los motores fijos modificados para funcionar con metano se encuentran normalmente en el mercado.</li> <li>• El biogás puede quemarse directamente en un calentador de agua.</li> </ul>
<b>Granjas, mataderos y aguas residuales</b>	FIRCO, AgCert, EcoSecurities, Grupo Porcícola Mexicano, SIMEPRODE, Promotora Ambiental S.A.B. de C.V, BENLESA, ETEISA	0.2 USD/m <sup>3</sup>	4511	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El gas puede alimentar un motor que accione un generador de energía eléctrica. Los motores fijos modificados para funcionar con metano se encuentran normalmente en el mercado.</li> <li>• El biogás puede quemarse directamente en un calentador de agua</li> </ul>

Astroepográfico (a) - Delirado por las alturas del ser humano.

Cambio en uso de suelo - A las variaciones que sufre la superficie terrestre, debido principalmente a la apertura de nuevas tierras agrícolas, bosques, asentamientos humanos e industriales.

CO<sub>2</sub> equivalente - Cantidad de CO<sub>2</sub> de carbono que podría causar el mismo grado de calentamiento radiativo que una tonelada de óxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Deforestación

Deforestación - Eliminación o reducción drástica de la cubierta forestal, debido a la explotación de la madera, la agricultura, la ganadería, la minería, la construcción de carreteras y otras actividades.

In situ -

Reforestación - Planteo de árboles en un área que ha sido deforestada o degradada, con el fin de recuperar la cubierta forestal y mejorar las condiciones ambientales.

Reserva - Área de terreno que ha sido designada para ser protegida y utilizada para fines ambientales, científicos, culturales o recreativos.

Turbera - Tipo de suelo que se forma en áreas pantanosas y húmedas, donde se acumula la materia orgánica muerta que no se descompone completamente.

Urbano - Área que está ocupada por edificios, calles, parques y otras estructuras humanas.

Vegetación - Conjunto de plantas que crecen en un determinado lugar.

Vegetación primaria - Tipo de vegetación que se encuentra en áreas que no han sido alteradas por actividades humanas.

Turba - Es un material orgánico compacto, de color negro oscuro y rojo en estado seco, formado por una masa esponjosa y ligera en la que se acumulan los restos vegetales que la originan. Tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se emplea como combustible y en la agricultura y de aguas residuales.

Vinaza - Es el subproducto líquido de la destilación del cañaveral y de la caña de azúcar.

Zafra - Cosecha de la caña dulce, fabricación del azúcar de caña y de la vinaza.



**Antropogénico (a)** – Generado por las actividades del ser humano.

**Cambio de uso de suelo** - A los cambios que sufre la superficie terrestre, debido principalmente a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamientos humanos e industriales.

**CO<sub>2</sub> equivalente** - Concentración de bióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

**Dendroenergía** – Energía obtenida a partir de la leña y el carbón vegetal.

**Desmonte** - A toda actuación antropogénica que haga perder al "bosque nativo" su carácter de tal, determinando su conversión a otros usos del suelo tales como, entre otros: la agricultura, la ganadería, la forestación, la construcción de presas o el desarrollo de áreas urbanizadas.

**In situ** - En el sitio.

**Reforestación** - Conversión por actividad humana directa de terrenos no boscosos en terrenos forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales en superficies donde antiguamente hubo bosques, pero que actualmente están deforestadas.

**Reserva original** - Volumen de hidrocarburos a condiciones atmosféricas, que se espera recuperar económicamente con los métodos y sistemas de explotación aplicables a una fecha específica. Es la fracción del recurso descubierto y económico que podrá obtenerse al final de la explotación del yacimiento.

**Reservas posibles** - Volumen de hidrocarburos en donde el análisis de datos geológicos y de ingeniería sugiere que son menos probables de ser comercialmente recuperables que las reservas probables.

**Reservas probables** - Reservas no probadas cuyo análisis de datos geológicos y de ingeniería sugiere que son más tendientes a ser comercialmente recuperables que no serlo.

**Reservas probadas** - Volumen de hidrocarburos o sustancias asociadas evaluadas a condiciones atmosféricas, las cuales por análisis de datos geológicos y de ingeniería se estima con razonable certidumbre que serán comercialmente recuperables a partir de una fecha dada proveniente de yacimientos conocidos y bajo condiciones actuales económicas, métodos operacionales y regulaciones gubernamentales.

**Turba** - Es un material orgánico compacto, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

**Vinaza** - Es el subproducto líquido de la destilación del mosto en la fermentación del etanol.

**Zafra** - Cosecha de la caña dulce. Fabricación del azúcar de caña y de la remolacha.

ADN, 2008a. México tiene 38 proyectos de etanol. Publicación de la Agencia Digital de Noticias. Boletín No. 110. Buenos Aires, Argentina.

ADN, 2008b. Impulsan los proyectos de etanol en Tamaulipas. Publicación de la Agencia Digital de Noticias. Boletín No. 181. Buenos Aires, Argentina.

Aitken, D. 2005. *Global Warming: Transitioning to a renewable energy future*. International Solar Energy Society. Toronto, Canada.

Ame, R. 2004. *El rol de la ingeniería en el desarrollo de las energías renovables*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Arias, T. 2007. *El etanol en un mundo cambiante*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Arias, T. 1997. *Flujos de energía y otros factores en el desarrollo de la agricultura*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Arzobispo, J. 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Bain, R. 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Barbosa, F. 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

BCE, 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Béguin, P., y A. 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Blond, W. 2007. *El etanol en México*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Blottnitz, H. 2006. *Review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective*. *Journal of Cleaner Production* 20(13): 937-948.

Booth, H. 1974. *Abastecimiento a largo plazo de carbón de leña para Altos Hornos Zapla*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ASG 70/536, Documentos de Trabajo No. 13. Buenos Aires, Argentina.



ADN, 2008a. México tiene 19 proyectos de etanol. Publicación de la Agencia Digital de Noticias. Boletín No. 110. Buenos Aires, Argentina.

ADN, 2008b. Impulsan los proyectos de etanol en Tamaulipas. Publicación de la Agencia Digital de Noticias. Boletín No. 163. Buenos Aires, Argentina.

Aitken, D. 2005. White Paper: Transitioning to a renewable energy future. International Solar Energy Society. Freiburg, Alemania.

Amo, R. 2001. Forjando la sustentabilidad social: Desde la autoestima hasta el empoderamiento de las mujeres rurales. Género y educación. México D.F., México.

Arias, T. 1993. Manejo y consumo de leña en un municipio rural de subsistencia: Alcozauca, Guerrero. Tesis Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México D. F., México.

Arias, T. 1997. Consumo y flujos de leña y otros combustibles en la micro-región Tlapa de Comonfort, Guerrero. Informe técnico. Proyecto FAO/TCP/4553 (A). Dendroenergía para el desarrollo rural. México D.F., México.

Arvizu, J. 2005. Los principales países emisores, emisiones históricas. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Bain, R. y Craig, K. 1997. Gasification based biomass in renewable energy technology characterizations, TR-109496. Electric Power Research Institute, Inc. and US Department of Energy. EEUUA.

Barbosa, F. 2000. Exploración y reservas de hidrocarburos en México. Instituto de Investigaciones Económicas UNAM: M. A. Porrúa. México D.F., México.

BCE, 2007. En agosto de 2007 operará primera planta de biodiesel en México. Publicación de BioCombustibles España. Madrid, España.

Béguin, P., y Aubert, J. 1994. The biological degradation of cellulose. *FEMS Microbiology Reviews* 13(1): 25–58.

Bland, W. 2007. A holon approach to agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability* 5(4): 280-294.

Blottnitz, H. 2006. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 20(15): 607–619.

Booth, H. 1974. Abastecimiento a largo plazo de carbón de leña para Altos Hornos Zapla. UNDP. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ARG 70/536, Documento de Trabajo No. 13. Buenos Aires, Argentina.



BP, 2007. Statistical review of world energy 2007. Publicación de British Petroleum. Londres, Reino Unido.

Caine, M. 2000. Biogas flares: State of the art and market review. Topic report of the IEA Bioenergy Agreement Task 24– biological conversion of municipal solid waste. EEUA.

Calderón, S. 2006. La producción de petróleo en México. <http://www.petrolemexico.com/#02000001>. México D.F., México.

Carabias, J. 2000. El Cambio Climático: el problema ambiental del próximo siglo. ISES Milenium Solar Forum. México D.F., México.

Castro, A. 2008. Planeación e Instalación de Sistemas de Bioenergía. Apuntes de la materia impartida en la Licenciatura de Ingeniería Eléctrica Electrónica de Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Ceballos, A. 1984. Obtención de alcohol etílico a partir de residuos celulósicos. Tesis Licenciatura (Químico Farmacéutico Biólogo) UNAM, Facultad de Química. México D.F., México.

CENICA, 2008. El Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. México D.F., México.

Cert, A. 2007. Welcome to Ag Cert. Disponible en: <http://www.agcert.com/>. EEUA.

CFE, 1992. El carbón en la generación de energía eléctrica en México. Publicación de la Comisión Federal de Electricidad, Coordinación de Proyectos Especiales. México D.F., México.

CEFP, 2009. Informe diario sobre la evolución del precio del petróleo. Publicación del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, Cámara de diputados LX legislatura. México D.F., México.

CGEUMa, 2008. Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos. Diario Oficial de la Federación. Publicación del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. México D.F., México.

CGEUMb, 2008. Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. Diario Oficial de la Federación. Publicación del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. México D.F., México.

Chandrakant, P. y Bisaria, V. 1998. Simultaneous bioconversion of cellulose and hemicellulose to ethanol. *Critical Reviews in Biotechnology* 18 (4): 295–331.

Charles, B., Ryan, R., Ryan, N., y Oloruntoba, R. 2007. Public policy and biofuels: The way forward?. *Energy policy* 35 (20): 37-46.

Charles, J. 1994. Energía Renovable. Guía de alternativas ecológicas. México, D.F., México.



CONAPO, 2006. Proyecciones del total de casas en México. Publicación del Consejo Nacional de Población. Ver también: <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/>. México D.F., México.

Cooper, B. 1984. Introduction to the science and technology of coal and coal utilization. Plenum Press. Nueva York, EEUA.

Cooper, J. 2006. Life Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results. *Journal of Industrial Ecology* 56(12): 45-59.

Corti, A. 2004. Biomass integrated gasification combined cycle with reduced CO<sub>2</sub> emissions: Performance analysis and life cycle assessment (LCA). *Science Direct* 29 (20): 109-124.

CRE, 2001. Resolución Num. RES/140/2001. Publicación de la Comisión Reguladora de Energía. México D.F., México.

Crespo, V. 1999. Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral. Publicación del Departamento de Ingeniería química, Facultad de Ciencias Químicas Universidad Complutense. Madrid, España.

Davis, G. 1990. Energy for planet earth. *Scientific American* 16(7):26-36.

Davoudpour, H. 2006. The potential for greenhouse gases mitigation in household sector of Iran: Cases of price reform/ efficiency improvement and scenario for 2000–2010. Publicación United Nations Framework Convention on Climate Change. EEUA.

De Jong, B. y Masera, O. 2006. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1993 a 2002. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

De la Parra, J. 2007. General manager for Empacadora Toledo. Guatemala, Guatemala.

Demirbas, A. 2009. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management* 50(18): 14-34.

Díaz, R. 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO<sub>2</sub>. Tesis de Maestría en Ingeniería Energética. Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F., México.

Díaz, R. y Masera, O. 2000. Estufas eficientes de leña. Metodología para planear y ejecutar programas de difusión y monitoreo. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C. México D.F., México.

Dowaki, K. 2005. A comprehensive economic analysis of biomass gasification systems. *Greenhouse Gas Control Technologies* 15(29): 383-397.

Dutt, G. 1987. La combustión de biomasa y la estufa mejorada. Documento de trabajo No. 6, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Dutt, G., Navia J. y Sheinbaum, C. 1989. Cheranátzicurin: Tecnología apropiada para cocinar con leña". *Revista Ciencias*, No. 15, pp. 43-47.

EcoSecurities, 2006. Granjas Carroll México (GCM): Project design document. United Nations Framework Convention on Climate Change. México D.F., México.

EERE, 2005. Multi Year Program Plan 2007–2012. Office of the Biomass Program. Disponible en: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp.pdf>. Publicación de Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. EEUUA.

EIA, 2005. Spain country analysis brief. US Department of Energy. Publicación de Energy Information Administration. EEUUA.

Enríquez, M. 2005. Producción de etanol anhidro en ingenios azucareros. Publicación del Senado de la República LX legislatura. Comisión permanente, Congreso de la Unión. México D.F., México.

EPA, 2006. Methane. Available from: <http://www.epa.gov/methane/scientific.html>. Publicación de Environmental Protection Agency. Washington D.C., EEUUA.

EPA, 2007. Concerns about MTBE <http://www.epa.gov/mtbe/water.htm>. Publicación de Environmental Protection Agency. Washington D.C., EEUUA.

EPI, 2007. World biodiesel production 1991–2005. Publicación del Earth Policy Institute. California, EEUUA.

Escobar, J., Lora, E., Venturini, O., Yañez, E. 2008. Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 1 (2):1-14.

Escoto, J. 2006. Energéticos alternativos para México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Químico)-UNAM. Facultad de Química, UNAM. México D.F., México.

ET, 2007. Global biofuel trends, March 2007 Monthly Update. Publicación de Earth Trends. Washington D.C., EEUUA.

Exxon Mobil, 2004. Areport in energy trends greenhouse gas emissions and alternative energy. Publicación de Earth Sciences Division. Disponible en: <http://www.esd.lbl.gov>. California, EEUUA.

FAO, 1993. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. ESTUDIO FAO: MONTES 41. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO, 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. EEUUA.

FAO, 2006. The state of food insecurity in the world. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. EEUUA.

FEALAC, 2006. Analysis of the present situation and future prospects of the clean development mechanism (CDM) in the FEALAC member countries. Publicación de Forum for East Asia-Latin America Cooperation. Tokio, Japón

Fenhann, J. 2007. MDL project pipeline. Publicación del United Nations Environment Programme Riso Center. California, EEUUA.

Fernández, A. y Martínez, J. 2005. Cambio climático: Una visión desde México. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Fernández, C. 2007. Producción mundial biodiesel y bioetanol aumentó un 29,6% en 2007. Pulicación del Departamento de Biocarburantes del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España.

FIRCO, 2007. Proyecto de apoyo a la generación y aprovechamiento de biogás en explotaciones pecuarias. Publicación del Fideicomiso de Riesgo Compartido. México D.F., México.

Fowler, D. 1994. Ethanol production by recombinant host. Assigned to Bioenergy International L.C., Florida, EEUUA.

Garduño, R. 2005. ¿Qué es el efecto invernadero?. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Gaudioso, R. 2003. Producción y uso del biodiesel. Publicación del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay.

Gavaldon, H. 2007. Ag Cert engineer. Veracruz, México.

GDF, 2008. Programa de acción climática de la ciudad de México 2008-2012. Publicación del Gobierno del Distrito Federal. México D.F., México.

Geller, H. 1994. Market transformation strategies to promote endues efficiency. ***Ann Rev Energy Environ*** 16(2): 22-30.

Ghilardi, A., Riegelhaupt, E. y Saldaña, R. 2005. Los recursos bioenergéticos en México. Ed. Mundiprensa. México D.F., México.

Goldemberg, J. y Moreira, R. 1999. The alcohol program. ***Energy Policy*** 19 (9):22-35.

Goldemberg, J. y Texeira, S. 2004. How adequate policies can push renewables. *Energy Policy* 21(1): 10-15.

Grainger, L. 1981. Coal utilization technology, economics and policy. Ed. Graham and Trotman. Londres, Inglaterra.

Green, K. 2006. Bringing down gas and oil prices, The American Enterprise Institute for Public Policy Research. *Environmental Policy Outlook* 18(3): 14-21.

Guerrero, G. y Masera, O. 2003. A multiscale assessment of woodfuel hot spots: A case study for Mexico. In: International seminar on bioenergy and sustainable rural development. Morelia, México.

Guo, B. y Wang, Y. 2003. China's energy future: LEAP tool application in China. East Asia Energy Futures (EAEF), Asia Energy Security Project Energy Paths Analysis, Methods training workshop. Vancouver, Canada.

Guzmán, A. y Laguna, I. 2005. Los mecanismos flexibles del protocolo de Kyoto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Hardy, R., Wright, P., Gribbin, J. y Kington, J. 1986. El libro del clima, Vol. III. Barcelona: Ediciones Orbis, S.A. Barcelona, España.

Hilbert, 2005. Manual para la producción de biogás. Publicación del Instituto de Ingeniería Rural. Buenos Aires, Argentina.

IEA, 2006. Power Systems Programme. Publicación de International Energy Agency. EEUUA.

IEA, 2007. Renewables in global energy supply. Publicación de International Energy Agency. EEUUA.

IIE, 1979. Estudios, adaptación y pruebas de equipos comerciales para la utilización del biogás. Informe IIE/FE-A2/14 del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.

IIT, 1992. Plantas de biogás: Diseño, construcción y operación. Publicación del Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Ed. Organización de los estados americanos. Bogotá, Colombia.

INEGI, 2006. Serie histórica del Producto Interno Bruto. Publicación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D.F., México.

INE-SEMARNAT, 2002. Segundo Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero. Publicación del Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales 1994-1998. México, D.F., México.

INIFAP, 2008. Centros de Investigación. Publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F., México.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The scientific Basis. Contribución del grupo de trabajo del tercer congreso del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Resumen técnico del

Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO-UNEP. Cambridge University Press. Reino Unido.

IPCC, 2007. The physical science basis. Resumen técnico del Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO-UNEP. Cambridge University Press. Reino Unido.

Islas, J. y Manzini, F. 2002. Renewable energies in the electricity generation for reduction of greenhouse gases in Mexico 2025. México D.F., México.

Islas, J. y Manzini, F. 2004. CO<sub>2</sub> mitigation costs in Mexican power sector using renewable energies. Pp. 30-34. **Sol Energy** . México D.F., México.

Islas, J., Manzini, F. y Masera, O. 2006. A prospective study of bioenergy use in Mexico. **Energy** 32 (25): 2306-2320.

Jingming, L. 1990. Rural biogas development in China. Division of Energy, Ecology and Environment. Center for Science and Technology Development, Ministry of Agriculture. Beijing, China.

Khandelwal, K. y Madhdi, S. 1993. Biogas technology: A practical handbook. Volumen I. Ed. McGraw Hill. Nueva Delhi, India.

Klimek, A. 2006. Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía. Ed. Parlamento mexicano. México D.F., México.

Kohlí, H. 1981. Producción de etanol a partir de biomasa. **Revista Energéticos**. No. 10, México D.F., México.

Körbitz, W. 2000. World-wide trends in production and marketing of biodiesel, altener seminar. University for Technology. Graz, Austria.

Kruger, P. 2006. Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, EEUUA.

Kumar, A. y Bhattacharya, S. 2003. Greenhouse gas mitigation potential of biomass energy technologies in Vietnam using the long range energy alternative planning system model. **Energy** 28(42):627-654.

Landa, J. 2007. Granjas Carroll engineer and construction supervisor. Veracruz, México.

Larson, E. 2005. A cost–benefit assessment of biomass gasification power generation in the pulp and paper industry. Final report. Navigant Consulting, Princeton University and Politecnico di Milano. EEUUA.

Lazarus, M. 1995. Long range energy alternatives planning system (LEAP). Reference manual. Boston Stockholm Environment Institute (SEI). Boston, EEUUA.

Leppiman, A. 2005. Current status of bioenergy and future prospects in Baltic Sea Area. BASREC BioEnergy 2003–2005 working group. Suecia.

López, M. 2005. El biodiesel, una alternativa al transporte. Ed. MADU. Madrid, España.

Lin, Y. y Tanaka, S. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology* 69 (15): 627–642.

Lokey, E. 2009. Barriers to clean development mechanism renewable energy projects in Mexico. *Renewable Energy* 34 (9):504-508.

Lund, H. 2002. México: Análisis crítico de los estimados disponibles de deforestación. Publicación de la Secretaría de EMARNAT. México D.F., México.

Lynd, L. 1996. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annual Review of Energy and the Environment* 21(66): 403–465.

Lynd, L. 2002. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 66 (3): 506–577.

Magaña, V. 2005. El cambio climático global: Comprender el problema. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Mantilla, L. 2007. Project developer for Fedepalma. Medellin, Colombia.

Manzini, F. e Islas, J. 2000. Reduction of greenhouse gases using renewable energies in Mexico 2025. *Sol energy* 5(17): 24-33.

Márquez, F. 2007. Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería. Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.

Martínez, A. 1986. Implicaciones ambientales del aprovechamiento de la biomasa. Energía y medio ambiente. Memorias de la Facultad de Ingeniería, Programa Universitario de Energía, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, PUE-UNAM. México, D. F., México.

Masera, O. 1993. Sustainable fuelwood use in rural México, Vol. 1: Current Patterns of resource use. Reporte LBL-34634. Universidad de California. Berkeley, EEUA.

Masera, O. 1995. Socioeconomic and Environmental Implications of Fuelwood use Dynamics and Fuel Switching in Rural Mexico. Tesis de Doctorado, Energy & Resources Group, U.C. Berkeley. EEUA.

Masera, O. 1997. Uso y Conservación de Energía en el Sector Rural: El Caso de la Leña. Documento de Trabajo No. 21. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Masera, O. y Ordóñez, M. 1997. Determinación de municipios críticos por consumo de leña. Informe técnico. Proyecto FAO TCP/4553 (A). Dendroenergía para el desarrollo rural. México D.F., México.

Masera, O., Saatkamp, B. y Kammen, D. 2000. From linear fuel switching to multiple cooking strategies: A critique and alternative to the energy ladder model. *World Development* 12(28): 2083-2103.

Masera, O. 2005. From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy Sustain Dev* 9(1): 25–36.

Mayer, P. 1978. A produgao integrada de carvao vegetal siderurgico: uma analise economica. Congreso ILAFA-Altos Hornos. Publicación del Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero. Río de Janeiro, Brasil.

Mentado, P. 2008. El metrobús redujo 29 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. *Energía Hoy*. Pag. 52. México D.F., México.

Mittelbach, M. 1996. The high flexibility of small scale biodiesel plants in production of methyl esters. Segundo foro de procedimientos de motores biodiesel en Europa. Ed. Joanneum Research. Graz, Austria.

Mouawad, J. 2007. Record Price of Oil Raises New Fears, The New York Times. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2007/10/17/business/worldbusiness/17oil.html>. EEUA.

Mulás, P. 2008. Presentación del Dr. Pablo Mulás en el Foro sobre Transición y Seguridad Energética. Publicación de la Junta de Coordinación Política del Senado de la República. México D.F., México.

Murphy, J. 2006. A technical, economic, and environmental analysis of energy production from newspaper in Ireland. *Waste Manage* 4(2007): 124-130.

NAS, 1999. Review of the research strategy for biomass-derived transportation fuels. Publicación de National Academy of Sciences. Washington, EEUA.

NREL, 2001. Biodiesel handling and use guidelines. Publicación de National Renewable Energy Laboratory. Departamento de energía de los Estados Unidos. Colorado, EEUA.

Oberthür, S. y Ott, H. 2005. The Kyoto Protocol. Ed. Springer. Londres, Reino Unido.

OCDE, 2006. Economic, environmental and social statistics. Publicación de la Organization for Economic Co-operation and Development. EEUA.

Ochoa, V. 2007. General manager of Granjas Carroll México. Veracruz, México.

Öko, I. 2004. Bioenergy, new growth for Germany. Institute for Applied Ecology-Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Berlín, Alemania.

Olguín, E. 1994. Evaluación y optimización del uso de la leña a nivel familiar y de pequeñas industrias rurales. Publicación del Instituto de Ecología, A.C. Jalapa, Veracruz, México.

PC, 2009. Historic prices: Point Carbon Secondary CER OTC assessment. Publicación de Point Carbon. Oslo, Noruega.

PEI, 2009. GaBi software, product sustainability. Publicación de PE International. Leinfelden, Alemania.

PEP. 2006. Reporte anual 2006. Anuario estadístico: Reservas. Publicación de PEMEX Exploración y Producción. México D.F., México.

Pereira, A. 1997. The crisis of development and the rural labor movement in North-East Brazil. Ed. Oxford University Press. EEUA.

Pereyra, J. 2007. Eco securities Mexico City office project manager. México, D.F., México.

Pérez, J. 2007. Farm doctor for Socorro Romero Sanchez farms. Puebla, México.

Pin Koh, L. y Ghazoul, J. 2008. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological conservation* 141 (13):50-60.

PNUMA, 2006. Producen biodiesel con desperdicios de cocina en México. Publicación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F., México.

Pradhan, S. y Bahadur, B. 2006. Mitigation potential of greenhouse gas emission and implications on fuel consumption due to clean energy vehicles as public passenger transport in Kathmandu Valley of Nepal: a case study of trolley buses in ring road. Publicación del National Institute of Public Transport of Nepal. Kathmandu, Nepal.

PRC, 2009. Introducción de SimaPro 7.1. Publicación de PRé Consultants. Amersfoort, Holanda.

Quadri, G. 2005. Potencial de participación del sector privado mexicano en el mecanismo de desarrollo limpio. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Razo, O. 2007. Farm doctor for La Gloria and El Angelito hog farms owned by Igazu. Veracruz, México.

Reuter, M. 1998. Manual técnico forestal. Información básica, métodos y procedimientos. Publicación de la SEMARNAT. Chetumal, Quintana Roo, México.



RMB, 2005. La Bioenergía como Catalizador del Desarrollo Sustentable en México. Publicación de la Red Mexicana de Bioenergía. México D.F., México.

RMB, 2006. Proyecto de biogás de relleno sanitario en Nuevo León. Publicación de la Red Mexicana de Bioenergía. Morelia, Michoacán, México.

Rhodes, J. 2005. Engineering-economic analysis of biomass IGCC with carbon capture and storage. *Biomass Bioenergy* 7(8): 40-49.

Rohde, R. 2003. Global Warming Art project. National Science Academies. EEUA.

Ruíz, L. y Cruz, X. 2005. Los gases efecto invernadero y sus emisiones en México. Publicación del Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SAGARPA, 2005. México iniciará la producción de etanol en 2010. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Guadalajara, Jalisco, México.

SAGARPA, 2007. Anuario estadístico de la producción agrícola. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México D.F., México.

SAGARPA, 2008. Programas. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México D.F., México.

Sathaye, J. y Dixon, R. 1997. Climate change country studies. *Apply Energy* 12(5): 50-55.

Saatkamp, B. 2000. Energy and health transitions in development: Fuel use, stove technology, and morbidity in Jarácuaro, México. *Energy for sustainable development*. 5(24):7-16.

Sawin, J. 2004. Mainstreaming Renewable Energy in the 21st Century, Worldwatch Institute, Washington, D.C., EEUA.

SEMARNAT, 1996. Standard NOM-002. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SEMARNAT, 2006. Tercer Comunicado Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SEMARNAT, 2008a. Mecanismo de Desarrollo Limpio. [http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica\\_ambiental/cambioclimatico/Pages/mdl.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/mdl.aspx). Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SEMARNAT, 2008b. El Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SEMIP, 1988. Análisis de la estructura de consumo de energía en el medio rural nacional. Publicación de la Secretaría de Minas e Industria Paraestatal. México D.F., México.

SENER, 1992. Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Artículo 3. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 1997. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2002. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2003. Prospectiva del sector eléctrico 2003–2012. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2005. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2006. Reservas probadas de petróleo. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2006 Estadísticas de Energía: Precios Medios de Energía Eléctrica. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

SENER, 2007. Balance Nacional de Energía. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

Shin, H. y Park, J. 2005. Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model. Publicación de United Nations Framework Convention on Climate Change. Seúl, Corea.

SLC, 2000. Análisis costo-beneficio. Publicación de la Sociedad Latinoamericana para la Calidad. Buenos Aires, Argentina.

Souto, J. 2006. Política nacional de biocombustibles. Publicación del Ministerio de Minas y Energía. Río de Janeiro, Brasil.

Tlapanco, E. 2007. General manager of Socorro Romero Sanchez farms. Puebla, México.

Toharia, M. 1984. Tiempo y clima. Colección Temas Clave. Salvat Editores. Madrid, España.

TOTAL, 2003. Paths to sustainable development-biofuels. Publicación de Total S.A. París, Francia.

Trossero, M. 2002. Dendorenergía: Perspectivas de futuro. *Unasyuva* 211(53): 3-9.

Tudela, F. 2005. México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Turn, S. 1999. Biomass integrated gasifier combined cycle technology: application in the cane sugar industry. *International Sugar Journal* 101(1205): 267-272.

Ueda, H. 2007. Sumitomo Corporation. México D.F., México.

UNDP, 2006. Simplified procedures for small-scale projects MDL. Publicación de United Nations Development Programme. EEUUA.

UNDP, 2006. Simplified procedures for small-scale projects; August 1, 2006. Available from: <http://www.undp.org/energy/docs/MDLchapter4.pdf>. Publicación de United Nations Development Programme. EEUUA.

UNDP, 2000. World energy assessment: energy and the challenge of sustainability. Publicación de United Nations Development Programme. Nueva York, EEUUA.

UNFCCC, 2006. Methodology AMS III-D: methane recovery in agricultural and agro industry activities (version 13). Publicación de United Nations Framework Convention on Climate Change. EEUUA.

Uribe, C. 2007. MDL consultant for Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Van der Brock, R. 1998. Electricidad a partir de eucalipto y bagazo en ingenios azucareros de Nicaragua. Food and Agriculture of the United Nations (FAO). Roma, Italia.

Van Rooijen, S. 2006. Green electricity policies in the Netherlands: an analysis of policy decisions, *Energy Policy* 34(2006): 60–71.

Vargas, M. 2007. Biodiesel. Publicación de la Dirección de Ahorro de Energía en el Transporte. México D.F., México.

Vázquez, L. 2005. Investigaciones de los glaciares y del hielo en los polos. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Velario, L. 2007. Granjas Carroll Mexico project engineer for Geosistemas. Veracruz, México.

Velásquez, A. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. Gaceta 62. Pp. 21-37. México D.F., México.

Voituriez, B. 1994. La atmósfera y el clima. Barcelona: Colección Conocer la Ciencia. RBA Editores. Barcelona, España.

WEC, 1994. New renewable energy resources: A guide to the future. Publicación de World Energy Council. Londres, Reino Unido.

Wick, J. 2004. Estufas mejoradas: Mejorar la vida, la salud y el medio ambiente. Publicación del Instituto Nacional de ecología. México D.F., México.

Wörgettera, M. 2006. Bioenergy in Austria: potential, strategies, success stories. Austrian Biomass Association (BLT). Austria.

Wright, J. 1998. Ethanol from lignocellulosies: An overview. *Energy Progress* 18(2):62.

WW, 2006. Biofuels for transportation: Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century. Publicación de World Watch. Washington D.C., EEUA.

Wyman, C. 1994. Ethanol from lignocellulosic biomass: Technology, economics, and opportunities. *Bioresource Technology* 50: 3–16.

Yáñez, E., Lora, E., Cássia, L. y venturini, O. 2008. Sensibility analysis of the cogeneration using biomass on life cycle assessment for palm oil biodiesel. *Proceedings of ECOS* 54 (3): 1353–1361.

Zamora, R. 2007. Head of the Rio Azul power plant. San José, Costa Rica.

Zhang, Y. y Lynd, L. 2004. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulose systems. *Biotechnology and Bioengineering* 8(7): 82–797.

Zhengming, Z. 1999. Renewable energy development in China: The potential and the challenges. Beijing, China: China Sustainable Energy Program, Center for Resource Solutions. Beijing, China.