



**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**

UN ANÁLISIS ECONÓMICO COSTO-BENEFICIO DEL  
ETANOL EN MÉXICO.

Tesis presentada por:

**César Arturo Domínguez Pérez**

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN ECONOMÍA APLICADA**

Tijuana, B. C., México

Agosto de 2008

## **DEDICATORIA**

**A mis padres: Yolanda Pérez  
Enrique Domínguez  
Hermanos: Luis Enrique,  
José Emilio, Yazmin.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Este trabajo de investigación es resultado de la colaboración de muchas personas así como del apoyo de mi director de tesis Alejandro Díaz y de todos mis profesores en el COLEF.**

**Agradezco mucho la oportunidad que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de la Frontera Norte (COLEF) me brindaron para poder realizar los estudios de maestría.**

**A mi asesor de tesis, el Dr. Alejandro Díaz Bautista, Profesor Investigador del Departamento de estudios económicos del COLEF por su apoyo a lo largo de la tesis. Al Dr. Eliseo Díaz González y el Dr. Ramón Amadeo Castillo Ponce por sus comentarios y sugerencias en la tesis.**

**Agradezco el apoyo de mis amigos Luis Ortiz, Gilberto Hernández, Víctor Canales, Mauricio del Real, Claudia Leal, Refugio Chávez, Kenia Arellano, Guillermo Yrizar, Melissa Cardoso, Karla Güisa, Mónica Chávez, Juan Angulo.**

**Un agradecimiento muy especial a la Lic. Jenny Izbeth Flores Ortega por el apoyo, consejos y las correcciones.**

## **RESUMEN**

La energía es uno de los temas estratégicos en el crecimiento económico y desarrollo de los distintos países del mundo. Sin embargo, el uso no planificado de los distintos combustibles fósiles causa contaminación en el medio ambiente. El calentamiento global se le atribuye al uso excesivo de combustibles fósiles, tal como el petróleo y carbón principalmente. Para contrarrestar estos efectos, la comunidad académica internacional trabaja buscando combustibles más amigables con el medio ambiente. Entre los distintos combustibles probados, el etanol ha resultado el que más se adapta a las necesidades energéticas.

La presente investigación tiene como objetivo realizar un análisis costo beneficio a nivel microeconómico y macroeconómico del uso del Etanol en México. Para ello se pretende utilizar la herramienta de análisis costo-beneficio desarrollada y utilizada por distintos economista, entre ellos A. C. Harberger, M. S. Feldstein, K. J. Dorfman, los cuales concuerdan que este análisis ayuda a la toma de decisiones tanto en la aplicación de políticas públicas, finanzas y economía.

Las conclusiones sobre el análisis costo-beneficio del etanol demuestran una factibilidad económica del procesamiento industrial para producir etanol y altas tasas de retorno a las eventuales inversiones. Además, la utilización de etanol de caña de azúcar no pondrá en riesgo los recursos alimentarios con los que cuenta el país.

## **SUMMARY**

Energy is one of the most important strategic issues related to economic development and growth of several countries in the world, but the unplanned use of the various fossil fuels cause pollution in the environment. Global warming is attributed to the overuse of fossil fuels such as oil and coal. To counter these effects, the international academic community is looking for new environmentally friendly fuels. Among the various fuels tested, ethanol has proved to be the best suited to current energy needs.

The present research applies the cost and benefit analysis of Ethanol in Mexico at the micro and macro-level use. It applies the cost-benefit analysis developed and used by various economists, including A. C. Harberger, M. S. Feldstein, K. J. Dorfman, who agree that this analysis helps decision makers in implementing public policies. Cost benefit Analysis is also widely used in finance and economics.

The cost-benefit analysis shows signs of economic feasibility of industrial processing to produce ethanol and high rates of return on ethanol investments. In addition, the use of ethanol from sugarcane will not put in risk food resources in Mexico.

## ÍNDICE GENERAL

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
HIPÓTESIS .....	4
CAPITULO I. EL MERCADO DEL ETANOL .....	5
1.1 Estados Unidos de América.....	8
1.2 Brasil.....	9
1.3 Precios del etanol.....	12
1.4 México .....	13
CAPITULO II. EL ETANOL EN MÉXICO.....	16
2.1 Marco Legal del Sector .....	17
2.1.1 Ley de desarrollo rural sustentable.....	17
2.1.2 Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos .....	21
2.2 La Agricultura Mexicana (Insumos para Producción de Etanol) .....	22
2.2.1 Antecedentes del Maíz.....	23
2.2.2 Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) .....	35
2.3 Fuentes para la producción de Etanol.....	43
2.3.1 Etanol obtenido a partir de maíz.....	44
2.3.2 Etanol obtenido a partir de caña de azúcar .....	45
2.3.3 Etanol obtenido a partir de celulosa .....	47
2.4 Producción de Alcohol Etilico en México.....	48
2.4.1 Importaciones .....	50
2.4.2 Uso de etanol como combustible.....	50
2.5. Comportamiento del etanol como combustible.....	52
2.5.1 Etanol como sustituto de la gasolina .....	52
2.5.2 Adición de etanol en la gasolina.....	53
2.5.3 Desarrollo de motores de etanol puro.....	53
2.6 Ventajas del uso de etanol como componente de gasolina.....	54
2.6.1 Efecto en la calidad del aire.....	54
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA COSTO BENEFICIO .....	56
3.1 La Escuela Neoclásica y el Análisis Costo Beneficio .....	56
3.1.1 Fundadores de la Escuela Neoclásica y el Análisis Costo Beneficio .....	58
3.2 Análisis Costo-Beneficio (C-B) .....	59
3.2.1 Medición de C-B .....	62
3.2.2 Tasa social de preferencias del tiempo y el costo social de oportunidad de capital .....	63
3.2.3 Importancia de C-B: .....	67
3.2.4 La vida de los proyectos.....	67
3.2.5 Valoración Privada y Social de los costos y beneficios .....	68
3.2.6 Elección de la tasa de interés.....	71
3.3 Estudios preliminares sobre el Etanol .....	74
3.3.1 Impactos Económicos y Ecológicos del Cambio de Combustibles en México..	74
3.3.2 Modelo para el análisis del Mercado de Etanol en España para el grupo Rode-Bentley.....	79
3.3.3 Evaluación del proyecto para la producción de etanol en México.....	80
3.3.4 Etanol de Caña en México, posibilidades de uso como combustible.....	80
3.3.4 Producción de etanol anhidro en ingenios azucarero.....	81

3.3.5 Energías Renovables para el desarrollo Sustentable de México 2006. ....	82
3.3.6 Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México. ....	84
CAPITULO IV. ANÁLISIS EMPÍRICO COSTO BENEFICIO DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN MÉXICO.....	92
4.1 Evaluación Microeconómica Privada del Proyecto.....	92
4.1.1 Proyecto Microeconómico.....	96
4.2 Evaluación Macroeconómica .....	109
4.2.1 Marco contextual .....	109
4.2.2 Etanol como combustible .....	111
4.2.3 Evaluación de Escenarios .....	114
4.2.4 Evaluación de la producción de Etanol con maíz.....	119
CAPITULO V. CONCLUSIONES .....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	134
ANEXO 1. Estados con mayor producción de Maíz.....	134
ANEXO 2. Estados con un mayor rendimiento de tonelada por hectárea de maíz.....	135
ANEXO 3. Entidades Federativas productoras de caña de azúcar.....	136
ANEXO 4. Ingenios a Nivel Regional en México. ....	136
ANEXO 5. Diagrama de proceso de Producción de Etanol.....	138
ANEXO 6. Principales consideraciones del análisis Costo Beneficio .....	139

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Principales Países productores de etanol. ....	7
Cuadro 2.1. Descripción Botánica del maíz .....	24
Cuadro 2.2. Producción de los principales cereales en el mundo.....	27
Cuadro 2.3. Serie histórica de la importaciones de granos 1994-2005 (miles de toneladas). ....	34
Cuadro 2.4. Producción de etanol por hectárea en distintos cultivos (litros/ha). ....	45
Cuadro 2.5. Costos de producción de etanol (U.S.\$/litro).....	46
Cuadro 2.6. Consumo Aparente de Alcohol Etilico (litros) .....	48
Cuadro 2.7. México: Exportaciones de Alcohol Etilico por País de Destino (litros y porcentaje) .....	49
Cuadro 2.8. México: Importaciones de Alcohol Etilico por País de Origen (litros y porcentaje). ....	50
Cuadro 3.1: Características esenciales de la Escuela Neoclásica.....	57
Cuadro 4.1. Grados de Sensibilidad y Dictamen.....	95
Cuadro 4.2. Producción de Etanol en México por Ingenio. ....	97
Cuadro 4.3. Infraestructura para la producción de alcohol en México. (Zafra 2004/2005.)99	
Cuadro 4.4. Plan anual de operación de la Destilería.....	100
Cuadro 4.5. Estimación de la Inversión y del Capital de Trabajo requeridos .....	101
Cuadro 4.6. Costo estimado de la Destilería. ....	101
Cuadro 4.7. Cifra estimada del Capital de Trabajo .....	101
Cuadro 4.8. Plantillas de personal y su costo actualizado (periodo 12 meses de año).....	102
Cuadro 4.9. Plantilla de Personal (costos actualizados).....	102
Cuadro 4.10. Costo Neto Anual de producción (CNA) del Etanol Bases: Costos con la destilería operando a capacidad nominal.....	104
Cuadro 4.11. Costo neto unitario del etanol.....	104
Cuadro 4.12. Costo Estimado de Transporte del Etanol a las Refinerías.....	105

Cuadro 4.13. Relación de la variación de precios de la caña y de venta del etanol puesto en la destilería.....	106
Cuadro 4.14. Costo anual de operación de la Destilería (CAO). (Cifras en millones de dólares por año).....	106
Cuadro 4.15. Amortización del Financiamiento (Cifras en millones de dólares por año).....	107
Cuadro 4.16. Estado Pro-Forma de resultados de la Destilería. (Cifras en millones de dólares por año).....	108
Cuadro 4.17. Utilidad Neta y Flujo de efectivo de la destilería (Cifras en millones de dólares por año).....	108
Cuadro 4.18. Indicadores Económicos (VAN, TIR y B/C).....	109
Cuadro 4.19. Requerimientos de Gasolina por Marca de Vehículo.....	113
Cuadro 4.20. Características de combustible con distintas cantidades de Etanol.....	113
Cuadro 4.21. Equivalencias de las Mezclas.....	114
Cuadro 4.22. Requerimientos diarios de combustible para abastecer el parque vehicular con gasolina Magna-Etanol.....	114
Cuadro 4.23. Consumo de gasolina y cantidad necesaria de etanol para mezclar (5%, 10% y 15%, en millones de litros).....	116
Cuadro 4.24. Cantidad de azúcar fermentable.....	117
Cuadro 4.25. Producción de etanol a partir de melaza.....	118
Cuadro 4.26. Producción requerida de caña.....	118
Cuadro 4.27. Producción de azúcar por estado productor.....	119
Cuadro 4.28. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando caña de azúcar.....	121
Cuadro 4.29. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando melaza de caña de azúcar.....	121
Cuadro 4.30. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando maíz..	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentaje de la participación por país en la producción mundial de etanol (2005).....	7
Figura 1.2. Producción de Etanol en EUA (litros).....	8
Figura 1.3. Producción de Etanol en Brasil (litros).....	10
Figura 1.4. Exportación e Importaciones de Etanol en Brasil (litros).....	11
Figura 1.5. Consumo de etanol en Brasil.....	12
Figura 2.1. Balance de Energía de México (%).....	16
Figura 2.2. Principales países productores de Maíz.....	28
Figura 2.3. Serie Histórica de la Producción de Maíz 1989-2009 (1000 Ton).....	29
Figura 2.4. Precios del maíz Mayo 2007- Mayo 2008 (\$/Kg).....	32
Figura 2.5. Serie Histórica de la producción y consumo de maíz blanco 1990-2005 (1000 Ton).....	33
Figura 2.6. Destino de la Producción de Maíz en los Estados Unidos para Consumo Doméstico, Exportaciones y Producción de Etanol.....	34
Figura 2.7. Principales países productores de Caña de Azúcar (%).....	39
Figura 2.8. Producción Mundial de Caña de Azúcar 1000 Toneladas.....	40
Figura 2.9. Principales Estados productores de Caña de Azúcar en México.....	40
Figura 2.10. Precios de la Caña de Azúcar en México (\$/Ton).....	42
Figura 4.1. Porcentaje de la producción de etanol por ingenio.....	98
Figura 4.2. Producción contra Consumo (miles de toneladas).....	115
Figura 4.3. Excedentes de caña de azúcar (miles de toneladas).....	115

## INTRODUCCIÓN

Recientemente, se han observado cambios de comportamiento en el estado del tiempo, tales como fuertes inundaciones, sequías y heladas tempranas, etc. Todos estos fenómenos se han bautizado como el niño, la niña y se le atribuye al calentamiento global. El cambio climático es uno de los temas ambientales más importantes en la actualidad. La preocupación sobre los cambios climáticos aumenta junto con las evidencias que las respaldan y el consenso, que la interferencia más importante sobre el ciclo natural de los gases con efecto invernadero, es la intervención humana.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se reconoce como el más importante junto con el metano, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, según el Protocolo de Kyoto que enumera los gases producidos por actividades humanas. Desde principios del siglo XX la concentración gases en la atmósfera está en aumento y las mayores causas identificadas son por la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra, en particular la deforestación.

Una solución teórica a este problema sería reducir el consumo de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases y aumentar la captura y almacenaje de carbono. El uso de energéticos contaminantes, tales como, los hidrocarburos; entre ellos destaca, el uso excesivo del petróleo, el cual se esta agotando; otro energético muy usado es el carbón mineral, este hidrocarburo es muy contaminante. El reflejo de la contaminación impacta directamente en la capa de ozono, además, genera un calentamiento en el Planeta Tierra, por lo que es necesario buscar energías alternativas, renovables, tales como, los biocombustibles.

Los biocombustibles se conocen como una nueva forma de crear energía, en el contexto de un mundo contaminado, globalizado y sobrepoblado, surge la idea de realizar prácticas de desarrollo limpio, entre ellas, el uso de energía alternativa.

Entre los Biocombustibles más importantes tenemos al Biodiesel, Bioetanol y Biogás que se producen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos. Los Biocombustibles usan la biomasa vegetal sirviendo como una fuente de energía renovable para los motores empleados. Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de

energías fósiles, como el gas y el petróleo, donde se observa un incremento insostenible en sus precios para los usuarios. Los Biocombustibles son una alternativa más, en vistas a buscar fuentes de energías sustitutivas, que sirvan de transición hacia una nueva tecnología, como por ejemplo la fusión o el hidrógeno.

Los Biocombustibles desarrollados a partir de estos productos, pueden ser utilizados en los motores convencionales sin cambios de consideración, debido a su poder diluyente, por lo que solo requieren del reemplazo de las mangueras de conducción del combustible por elementos no fabricados sobre la base de caucho o espuma de poliuretano.

Este tipo de combustibles son el resultado de un proceso agroindustrial con el que se aprovecha los recursos naturales, tales como, los sobrantes de cosechas agrícolas, cultivo especializados como maíz, sorgo dulce, caña de azúcar y remolacha. La energía obtenida por el proceso es utilizada en los carros y en la industria. El biocombustible más se producido y comercializado a nivel internacional es el Etanol. Sin embargo, en algunos países, la industria del etanol se ha desarrollado muy poco, tal es el caso de México.

El desarrollo de la industria del etanol es insuficiente en México, esto se puede deber a distintos factores económicos-sociales, como lo son: tecnología no apta para el desarrollo de la industria, altos costos de la tecnología para producir etanol, falta de planeación, insuficiencia de recursos, inexistencia de un marco legal. Además, los sectores agrícola y energético necesitan fuertes cambios que lo lleven a producir los insumos que la industria del etanol requiere, sobre todo en el caso de los cultivos de maíz y caña de azúcar.

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

El uso de etanol puede ser un importante apoyo a la conservación ambiental y a la economía de México. En México se puede impulsar el uso de etanol como aditivo en las gasolinas, al igual que una forma de dar apoyo económico a los productores mexicanos de caña de azúcar y maíz, de los que se puede fabricar el combustible. El cultivo de maíz por contrato para la producción de etanol en México podría ser la fórmula que permita a los productores mexicanos soportar la apertura del mercado agrícola en el TLCAN durante 2008.

Los proyectos de producción de Etanol en México pueden tener la viabilidad económica al sustituir importaciones y crear fuentes de producción y trabajo. La utilización de etanol, que está en debate actualmente en México, en especial en el Congreso mexicano, implicaría la adaptación o construcción de plantas refinadoras para un proceso de fermentación que no es más complicado que el usado para la fabricación de aguardientes. Por lo que el análisis costo beneficio a nivel microeconómico y macroeconómico puede ser de vital importancia para el futuro del sector energético de nuestro país.

Aunado a lo anterior, el problema de producción y consumo del etanol en México, lo podemos ubicar como una falla de mercado que se explica en el cálculo inadecuado de los costos y beneficios, esta situación genera distorsiones en el mercado.

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis costo beneficio a nivel microeconómico y macroeconómico del uso del Etanol en México.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un análisis de costo-beneficio del Etanol.
- Medir los impactos económicos debido al cambio de combustible.
- Generar información que contribuya a la toma de decisiones en el sector de los biocombustibles

## **JUSTIFICACIÓN**

En México actualmente se produce etanol, sin embargo, la producción actual es marginal en comparación con la demanda necesaria para utilizarla en la gasolina. Hoy en día, se están realizando distintos proyectos evaluando la factibilidad del etanol en México. Sin embargo, no se han medido los costos sociales y los beneficios sociales por la implementación del uso del etanol en México.

Aunado a lo anterior, el estudio del etanol como combustible es un tema muy actual y en debate. México está preparado para la introducción de etanol tras la aprobación de la ley de bioenergía. Los bioenergéticos representan una forma de contribuir a mejorar las condiciones del medio ambiente en México, además, el uso de biocombustibles reduce el consumo de combustibles fósiles. Por lo que es necesario crear una infraestructura adecuada donde pueda participar la iniciativa privada en la producción de etanol, pues así lo establece la ley de bioenergía recientemente aprobada en México.

## **HIPÓTESIS**

La producción de etanol en México es rentable para el país utilizando como insumo la caña de azúcar.

## CAPITULO I. EL MERCADO DEL ETANOL

Los biocombustibles se conocen como una nueva forma de crear energía. En el contexto de un mundo contaminado, globalizado y sobrepoblado, surge la idea de realizar prácticas de desarrollo limpio, entre ellas, el uso de energía alternativa. Es por ello que, los biocombustibles son el resultado de un proceso agroindustrial con el que se aprovecha los recursos naturales, tales como, los sobrantes de cosechas agrícolas. La energía obtenida por el proceso es utilizada en los carros y en la industria.

El mercado del etanol se encuentra integrado por la oferta y demanda del bien, en este caso etanol. Las interacciones entre la producción y el consumo forman el precio del mercado al cual se vende el biocombustible. En el presente capítulo se abordará el mercado del etanol a nivel internacional y nacional, el propósito del capítulo es contextualizar el etanol a nivel internacional, para después abordarlo en el mercado local.

Ahora bien, algunos de los factores que influyen en la producción de los biocombustibles son:

- *Geográficos*: Localización y extensión de las áreas cultivables, así como los aspectos meteorológicos.
- *Agronómicos*: Condiciones agrícolas de cada país, respecto a suelo, semilla, fertilidad, cultivo y rendimientos.
- *Tecnológicos*: Infraestructura (destilerías, tecnología agrícola).
- *Legales*: La existencia de un marco legal que incentive la producción y comercialización de los biocombustibles.

En los países que se produce etanol a partir de caña de azúcar, el principal determinante de la cantidad óptima destinada para etanol es el mercado del azúcar. Por su parte, en países productores de maíz son la cantidad de este que se destina a consumo humano y animal, por parte de las industrias de alimentos balanceados. En el mundo se cosechan 143 millones de hectáreas de maíz, con una producción de 694 millones de toneladas (FAO, 2006). Los principales productores son Estados Unidos de América, China, Brasil, México e India. En cuanto a la producción de caña en el año 2006 se produjeron 1,391 millones de toneladas en una superficie de 20 millones de hectáreas (FAO, 2006). Los principales productores de caña son Brasil, India, China y México. De lo anterior podemos saber

cuáles son los países que tienen posibilidades de aumentar la oferta mundial de alcohol etílico y cuáles serán solamente consumidores.

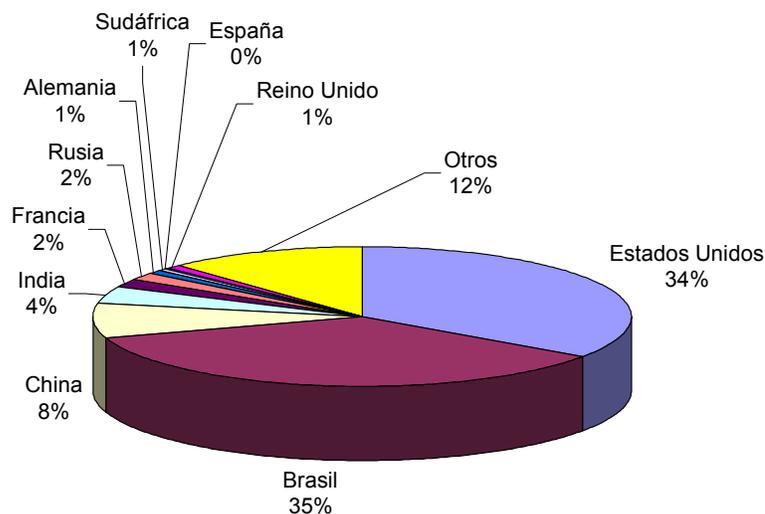
El etanol es uno de los biocombustibles que está comenzando a tomar mayor fuerza, sobre todo en la industria automotriz, desde los orígenes de dicha industria. Este biocombustible se empezó a utilizar por Henry Ford y otros pioneros del transporte; ellos comenzaron a desarrollar los automóviles. En 1880, Ford utilizó el etanol para abastecer de combustible uno de sus primeros automóviles, un cuatriciclo. Hoy en día, este combustible es de gran uso en distintos países del mundo, miles de automóviles circulan ya con ayuda del combustible, en el caso de Brasil hay reportes de su uso desde los 1950, otro país, desarrollado en el uso de dichos combustibles es Estados Unidos de América.

En el mundo se produce alrededor de 45,890 millones de litros de etanol. Entre los países que reportan una mayor producción para el año 2005, se encuentran Estados Unidos, Brasil, China e India. Por su parte, México ocupa el lugar número 28 con una producción de 45 millones de litros. Es importante resaltar que alrededor del 70% de la producción mundial se concentra en dos países, Brasil y Estados Unidos. Además, la oferta está aumentando año con año, debido a la importancia que va adquiriendo el biocombustibles en el mundo, en ocho años la oferta mundial se ha incrementado en un 40 %, pasando de 32,960 millones de litros a 45,890 millones de litros, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 1.1 Principales Países productores de etanol.

<b>Cuadro 1. Producción anual de etanol por país (1997-2005). FUENTE: F.O. LICHT.</b>										
<b>PRINCIPALES PRODUCTORES DE ALCOHOL (miles de millones de litros)</b>										<b>VARIACIÓN</b>
<b>AÑO</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>(%)</b>
EUA	5.89	6.45	6.61	6.47	6.96	8.43	10.9	13.38	16.14	174.02
BRASIL	15.49	14.12	12.98	10.61	11.5	12.62	14.73	15.1	16	3.29
CHINA	2.69	2.8	2.86	2.97	3.05	3.15	3.4	3.65	3.8	41.26
INDIA	1.65	1.69	1.69	1.72	1.78	1.8	1.9	1.75	1.7	3.03
FRANCIA	0.77	0.78	0.78	0.81	0.81	0.84	0.82	0.83	0.91	18.18
RUSIA	1.18	1.2	1.28	0.62	0.66	0.73	0.75	0.75	0.75	-36.44
ALEMANIA	0.38	0.36	0.34	0.29	0.3	0.28	0.28	0.27	0.43	13.16
SUDÁFRICA	0.43	0.41	0.39	0.34	0.35	0.35	0.36	0.42	0.39	-9.30
REINO UNIDO	0.41	0.42	0.41	0.44	0.43	0.4	0.41	0.4	0.35	-14.63
ESPAÑA	0.14	0.14	0.13	0.15	0.23	0.26	0.31	0.3	0.35	150.00
MÉXICO	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.00
OTROS	3.88	3.54	3.54	5.34	5.9	6.54	6.1	3.88	5.02	29.38
<b>TOTAL</b>	<b>32.96</b>	<b>31.96</b>	<b>31.07</b>	<b>29.83</b>	<b>32.03</b>	<b>35.45</b>	<b>40</b>	<b>40.76</b>	<b>45.89</b>	<b>39.23</b>

Figura 1.1 Porcentaje de la participación por país en la producción mundial de etanol (2005)

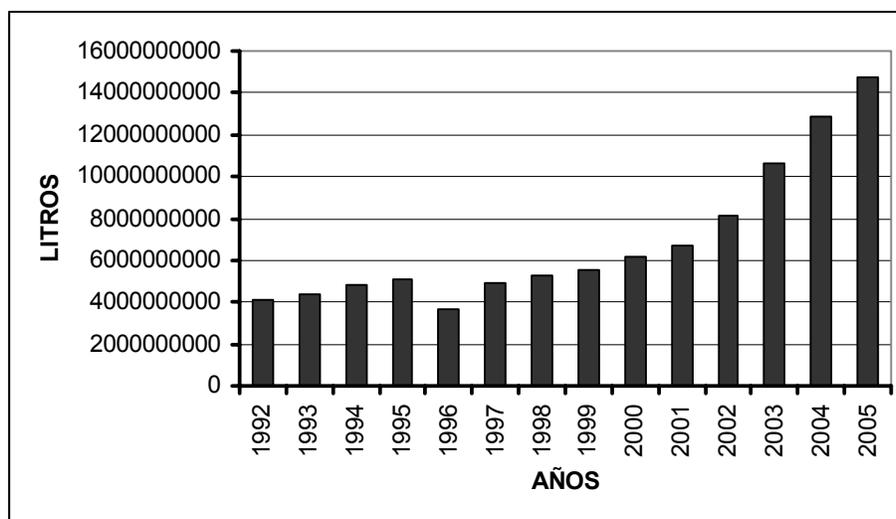


FUENTE: Elaboración propia con datos de F.O. licht

### 1.1 Estados Unidos de América

En Estados Unidos se produce alrededor de 16,140 millones de litros de etanol para el año 2005. La producción del biocombustible en EUA mantiene una tendencia a la alza. Distintos organismo, tales como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en ingles) y la Asociación de Combustibles Renovables (RFA, por sus siglas en ingles) pronostican que la producción aumentará considerablemente en los próximos diez años. Si consideramos que la producción ha crecido de manera sostenida en los últimos 13 años, pasando de 4,000 millones de litros en 1992 a 15 mil millones en el año 2005, como se ve en la siguiente figura, es posible afirmar que durante los próximos 10 años la producción se duplicará.

**Figura 1.2. Producción de Etanol en EUA (litros)**



FUENTE: Elaboración propia con datos de RFA.

Es importante mencionar, que en Estados Unidos, la producción de etanol ha sido posible gracias al apoyo que brinda el gobierno a sus productores agrícolas, principalmente a los que producen maíz, y sí a lo anterior le agregamos la concurrencia que existe entre el gobierno y el sector privado. Por lo anterior, hoy en día se está desarrollando una industria sólida y fuerte, con el fin de disminuir la dependencia de hidrocarburos fósiles y estimular la energía renovable. Sin embargo, el etanol de maíz por si mismo; no podrá reducir significativamente la dependencia energética de petróleo importado por parte de los

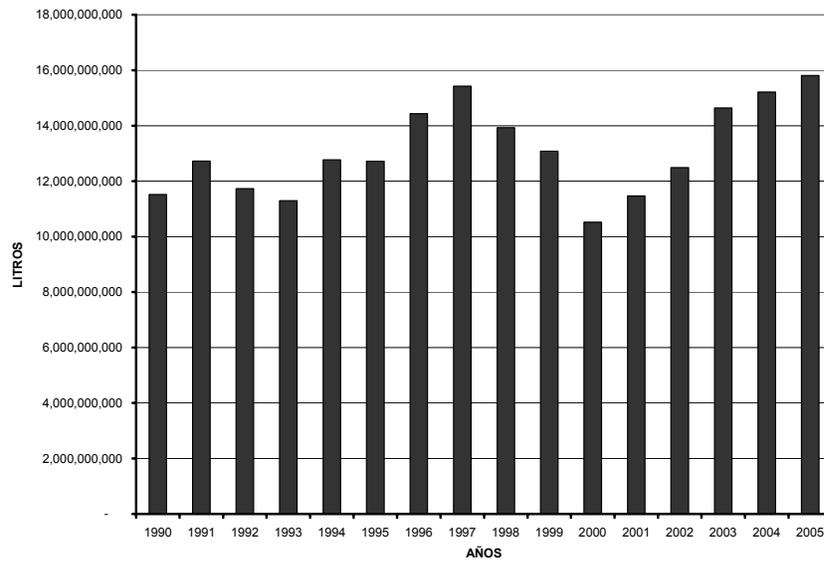
Estados Unidos. Alrededor de un 80% del petróleo consumido en los Estados Unidos es importado. En el año 2006, se estima que la producción de etanol alcanzará los 19 mil millones de litros, que es equivalente a tan sólo 1.5% del total de las importaciones estadounidenses de crudo.

Es sorprendente el crecimiento de la industria del etanol en Estados Unidos. En el año de 1999 había 57 plantas en existencia y 10 en construcción. Actualmente, operan 100 plantas productoras de etanol en 20 estados. La RFA reporta que al día de hoy 42 plantas se encuentran en fase de construcción y 7 en proceso de expansión. Se menciona que cuando dicha construcción y expansión hayan sido concluidas, la capacidad de producción de Etanol en los Estados Unidos será de 29.12 mil millones de litros.

### ***1.2 Brasil***

En la zafra 2005/2006, la producción de etanol en Brasil se ubicó cerca de los 16,000 millones de litros, para el año 2006/2007 se espera que éste aumente en 9%, respecto al año previo, por lo cual la producción podría situarse en 17,230 millones de litros, esto según datos del Balance Nacional de Caña de Azúcar de Brasil. La mayor oferta de etanol en este país se observa a partir del mes de mayo, cuando la cosecha de caña de azúcar ha terminado (la cosecha se origina de enero a abril de cada año) y las plantas procesadoras cuentan con una mayor disponibilidad del producto para su procesamiento. La producción de Etanol en Brasil ha seguido un comportamiento cíclico, como se ve en la figura 1.3.

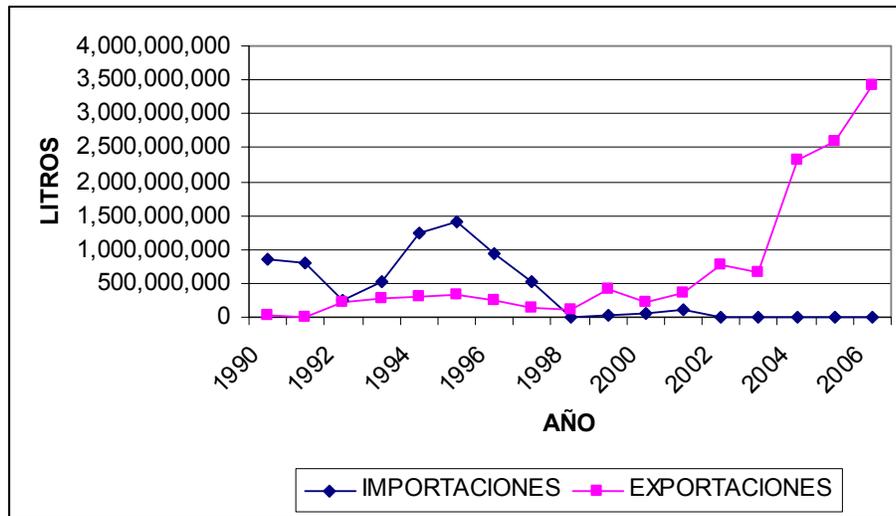
**Figura 1.3. Producción de Etanol en Brasil (litros)**



FUENTE: Elaboración propia con datos del Balance Nacional de Caña y Agroenergía.

En 2006, Brasil fue el mayor productor y consumidor de etanol como combustible del mundo. Debido a la dinámica de la producción de etanol en Brasil, este país ha logrado generar excedentes del combustible, mismos que coloca en los mercados externos, principalmente en la India, Japón y Estados Unidos, como lo reporta el Ministerio de Comercio de Brasil. En el año 2006 las exportaciones brasileñas de etanol alcanzaron más de tres mil millones de litros, lo que representó cerca del 20% de la producción. Con este volumen exportado, se ha convertido en el exportador número uno del mundo y en el segundo productor, detrás de Estados Unidos. Por otra parte, las importaciones han mantenido un comportamiento decreciente, en el año 2006 se importaron apenas 100 mil litros.

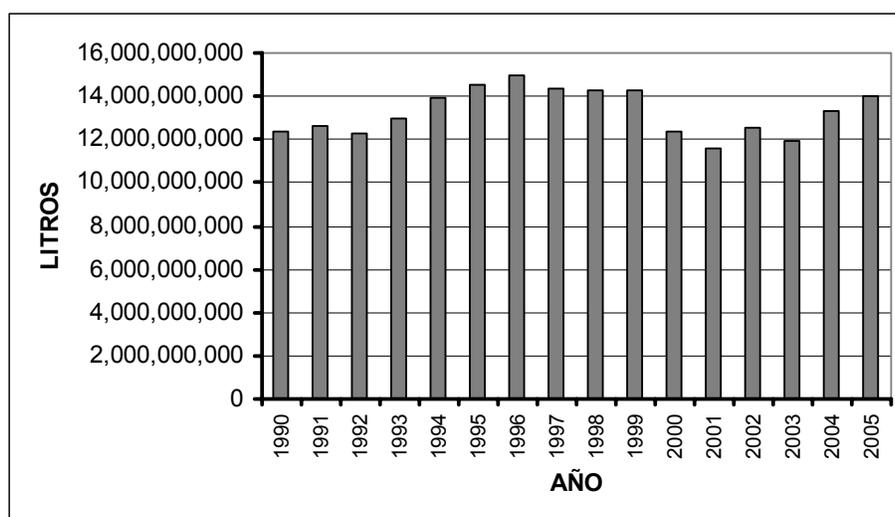
**Figura 1.4. Exportación e Importaciones de Etanol en Brasil (litros)**



FUENTE: Elaboración propia con datos del Balance Nacional de Caña y Agroenergía.

El consumo de etanol en Brasil ha seguido el mismo patrón de comportamiento que la producción, esto, se debe a la importancia que ha adquirido el etanol como combustible. En el año 2005, se consumieron 13,989 millones de litros de Etanol, lo que representó alrededor de un 87% de lo que se produjo en ese año, el resto de la producción se destinó al comercio exterior. El uso principal del etanol en Brasil es por parte de la industria automotriz, si bien es cierto, en el año 2005 cerca del 53.6% de los automóviles nuevos que circulan en Brasil utilizaron una combinación de etanol y gasolina.

**Figura 1.5. Consumo de etanol en Brasil**



FUENTE: Elaboración propia con datos del Balance Nacional de Caña y Agroenergía.

Otros países productores son: China que ocupa el tercer lugar en producción de etanol con 3,800 millones de litros (2005), esto es, gracias a su gran potencial en la producción de maíz, trigo y arroz; el cuarto lugar lo ocupa, India con 1,700 millones de litros (2005), obtiene el etanol a partir de caña de Azúcar. En Europa, Francia es el mayor productor del biocombustible con 910 millones de litros, superando a Rusia, Reino Unido y Arabia Saudita.

### **1.3 Precios del etanol**

La interacción de la oferta y la demanda, según las leyes del mercado, determinan el precio. En el caso del mercado de etanol, los precios son fijados por los precios de los insumos y la demanda de ellos, es decir, la variación que estos insumos tengan en el mercado determinará la variación del producto final (etanol), otro factor que ha influido en la fijación del precio, ha sido las cotizaciones internacionales del crudo. Ahora bien, Los precios del etanol en Estados Unidos, durante el año 2005, se ubicaron en 180 centavos de dólar por galón, lo que representó un incremento del 34.2% con respecto al 2003. Para el segundo semestre de 2006, la cotizaciones continuaban su carrera alcista, pero ahora con mayor fuerza, llegando a los 264.7 centavos de dólar como promedio, 45% mayores a lo observado al cierre de 2005. Iowa y Kansas son los mercados que sirven de referencia para analizar la tendencia de los precios. En Iowa, los primeros nueve meses del 2006, se

situaron éstos en 262 centavos de dólar por galón en el primer semestre del año. En Kansas se situaron en los 261.27 centavos de dólar por galón.

Otro mercado que sirve de referencia en el precio del biocombustible es el mercado de Sao Paulo, éste, no se ha escapado de la tendencia alcista de los precios del etanol que se observa en otros países. Así, para los primeros nueve meses del año 2006 los precios se ubicaron, en promedio, en 43 centavos de dólar por litro, lo que representó un incremento de 43.9% con relación al precio promedio de 2005. En el caso de Brasil los precios están por debajo de las cotizaciones observadas en Estados Unidos, esto se debe a que los costos de producción son inferiores en el país sudamericano, otro factor que influye en la determinación del precio en cada país, son las medidas proteccionistas, por ejemplo Estados Unidos aplica un impuesto a la importación de etanol de 52 centavos por galón importado procedente de todo el mundo con excepción de Centro América y el Caribe. El país que es más competitivo en precios es Brasil vendiendo a 0.6 centavos de dólar por litro. En el caso de México, al tener un mercado inmaduro, no reporta precios.

Así, la fuerte demanda de etanol en algunos países, el alza de los precios de los combustibles fósiles, el incremento de los precios de la materia prima para producir etanol (principalmente maíz y caña), no vislumbra una reducción de los precios del biocombustibles en el corto plazo. Si los precios del petróleo se mantienen por arriba de los 70 dólares por barril, sin duda que la demanda de etanol continuará creciendo, pero si llegan a niveles por debajo de los 50 dólares la situación para el etanol será diferente.

#### ***1.4 México***

El desarrollo de un nuevo producto, tal como es el etanol, tiene distintas visiones, según las características del mercado interno, entre ellas, se encuentra la producción de insumos para la generación del alcohol, la creación y reemplazo de la infraestructura tecnológica, la conversión y en el de los motores. Otro dato relevante, son las políticas publicas aplicadas al sector agrícola y energético que hagan que el mercado se dinamicé, tanto por el lado de lado de la oferta como de la demanda. Por su parte México produce 50 millones de litros de etanol.

En el país se han presentado distintas propuestas para insertarse en esta dinámica de los bioenergéticos, tales como la aprobación de la reciente Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, lo cual representa un paso muy importante en materia normativa para empezar a producir biocombustibles. Según la Secretaría de Energía, México está preparado para iniciar los programas que le permitan la introducción de etanol, pero se deben tener los mecanismos apropiados para poder utilizarlos en nuestra gasolina y diesel. Sin embargo, hasta ahora tan sólo hay proyectos propuestos para 16 plantas de Etanol. Dos plantas en el estado de Sinaloa, uno de los principales productores de maíz, pero su operación se encuentra detenida, por los precios del grano.

Es necesario resaltar la importancia que tendría la producción de biocombustibles para México, la cual se reduce a tres razones:

- La primera sería por disminuir la dependencia a un recurso no renovable como lo es el petróleo.
- Se utilizarían combustibles más amigables con el medio ambiente como es el caso de los biocombustibles.
- Fomentaría y promovería la agricultura regional de México, mejorando los ingresos de los productores rurales de nuestro país.

Es evidente que los recursos no son suficientes en PEMEX y se requiere una visión de reforma energética integral de país para enfrentar los retos del sector energético. Los combustibles alternativos son una forma de contribuir a mejorar las condiciones del medio ambiente, pero se requiere crear más infraestructura adecuada. México está preparado para iniciar los programas que permitan la introducción de etanol, pero se deben tener los mecanismos apropiados para poder utilizarlos en nuestra gasolina y nuestro diesel. A lo largo de la Frontera Norte de México se tiene la capacidad de incentivar la interconexión con los Estados Unidos con una reforma energética integral, al igual que se pueden utilizar los múltiples tipos de energía alternativas como energía eólica, solar, geotermia y bioenergéticos, así como el aprovechamiento de energía del mar y el hidrógeno, entre otras. Finalmente, el sector energético demanda de todos los mexicanos un esfuerzo creciente para contribuir a su crecimiento y al combate de viejas prácticas de corrupción y falta de respeto a las instituciones (Díaz-Bautista, 2007).

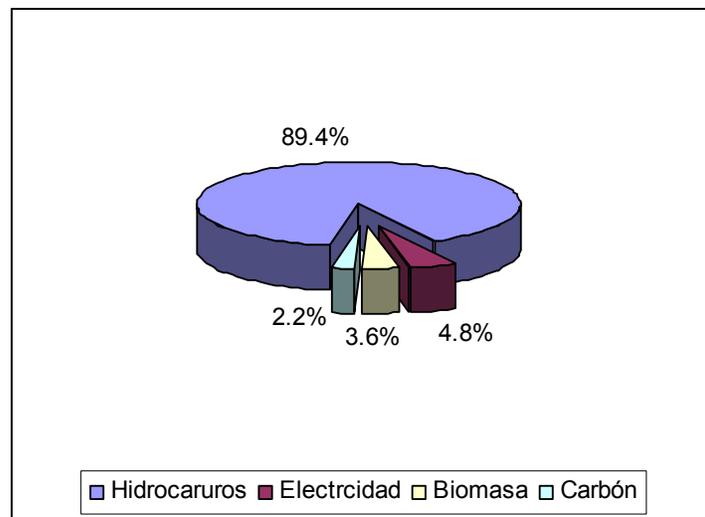


## CAPITULO II. EL ETANOL EN MÉXICO.

El capítulo dos es la continuación del primer capítulo, este apartado busca analizar el etanol en México abordando aspectos técnicos, legales y económicos principalmente. Los aspectos mencionados anteriormente serán explicados para el entendimiento del lector.

La producción de energía, junto a la producción de alimentos y el suministro de agua, representan los problemas cruciales de la vida en México y es de primordial importancia el implementar en los próximos años una estrategia adecuada (Alba, 1997, p. 133). México depende actualmente en un 90% de los hidrocarburos (petróleo y gas), para cubrir sus necesidades energéticas, en un 5% de la electricidad, en 3.6% de la biomasa, y en 2.2% de carbón mineral. De acuerdo con el Balance Nacional Energético 2006, la estructura de la producción primaria en nuestro país se comporta de la siguiente manera:

**Figura 2.1. Balance de Energía de México (%)**



Fuente: Elaboración propia con datos del Balance Nacional Energético 2006.

El comportamiento del balance energético en México es muy parecido al de otros países del mundo, esto es, debido a que en el mundo, los hidrocarburos son la principal fuente de energía; gracias a los beneficios que con el uso de estos se genera, tal como la gasolina utilizada para el transporte y otros. Sin embargo, en los últimos años, el uso excesivo de ellos ha provocado una serie de problemas relacionados con la contaminación; por lo anterior, la comunidad científica internacional busca nuevas formas de energía que sean amigables con el medio ambiente y se obtengan fácilmente. Los biocombustibles

cumplen con dichas características, se entiende por biocombustible aquel combustible de origen biológico que no se ha fosilizado (Camps, Martín, 2002, p. 48).

## ***2.1 Marco Legal del Sector***

Al igual que en el mundo, en México se está trabajando en el desarrollo de nuevas formas de producir energía (tanto en políticas públicas como en tecnología para producir combustibles alternativos). Desde 1994, la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y alimentación (SAGARPA) fue pionera en establecer, por medio del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), un programa para promover las oportunidades que representan el uso de energías renovables aplicadas a las actividades agrícolas. Con éste propósito, se implementó a partir del año 2000 el Proyecto de Energía Renovable para la Agricultura (PERA), contando con un donativo del Fondo Mundial del Medio Ambiente a través del Banco Mundial, y con el apoyo de Alianza para el Campo. Las tareas del PERA incluyeron la difusión de la tecnología para generar energía renovable, la identificación de los potenciales regionales, el establecimiento de instrumentación y la vinculación de los apoyos financieros y técnicos que permitieran implementar proyectos factibles y con alto impacto y beneficio regional, contando con la participación dedicada de los productores.

### ***2.1.1 Ley de desarrollo rural sustentable***

La ley de Desarrollo Rural Sustentable se publicó el día 7 de diciembre de 2001 en el diario oficial de la federación, sin embargo se ha estado reformando, la última reforma fue la del 2 de febrero de 2007. Esta ley se basa del artículo 27 constitucional. Los objetivos de la ley son promover el desarrollo rural sustentable del país, propiciar un medio ambiente adecuado; garantizar la rectoría del Estado y su papel en la promoción de la equidad, en los términos del artículo 25 de la Constitución, además sus disposiciones son de orden público<sup>1</sup>.

Ahora bien en la Ley está claro que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional y la conducción de la política de desarrollo rural sustentable, las cuales se ejercerán por conducto de las dependencias y entidades del Gobierno Federal y mediante

---

<sup>1</sup> Se considera de interés público el desarrollo rural sustentable que incluye la planeación y organización de la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, y de los demás bienes y servicios, y todas aquellas acciones tendientes a la elevación de la calidad de vida de la población rural.

los convenios que éste celebre con los gobiernos de las entidades federativas, y a través de éstos, con los gobiernos municipales según lo dispuesto por el artículo 25 de la Constitución.

La ley deja remarcado que lo importante es:

- La planeación del desarrollo rural sustentable, tendrá el carácter democrático.
- Los programas sectoriales se coordinará y dará congruencia a las acciones hechas por el gobierno.

Además, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo y de los programas sectoriales de las dependencias y entidades que la integren, la Comisión Intersecretarial<sup>2</sup> para el Desarrollo Rural Sustentable

La Comisión Intersecretarial, considerará las propuestas de las organizaciones que concurren los del Programa Especial Concurrente (PEP) serán integradas a los Proyectos de Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación.

De igual manera, la ley tiene contemplado un Centro Mexicano para el Desarrollo Sustentable, éste tiene la función de ser la instancia consultiva del gobierno federal

Para que la ley funcione los criterios rectores son:

- El principio de la concurrencia
- La descentralización, dominara la federación.
  - Los gobiernos federales y estatales estimularán la reconversión, en términos de estructura productiva sustentable, incorporación de cambios tecnológicos, y de procesos que contribuyan a la productividad y competitividad del sector agropecuario, a la seguridad y soberanía alimentarias y al óptimo uso de las tierras mediante apoyos e inversiones complementarias.

Se apoyará a los productores y organizaciones económicas para incorporar cambios tecnológicos y de procesos tendientes a:

- I. Mejorar los procesos de producción en el medio rural;

---

<sup>2</sup> La Comisión Intersecretarial estará integrada por los titulares de la siguientes dependencias del Ejecutivo Federal: a) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación cuyo titular la presidirá; b) Secretaría de Economía; c) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; d) Secretaría de Hacienda y Crédito Público; e) Secretaría de Comunicaciones y Transportes; f) Secretaría de Salud; g) Secretaría de Desarrollo Social; h) Secretaría de la Reforma Agraria; i) Secretaría de Educación Pública; j) Secretaría de Energía; y las dependencias y entidades del Poder Ejecutivo que se consideren necesarias, de acuerdo con los temas de que se trate.

- II. Desarrollar economías de escala;
- III. Adoptar innovaciones tecnológicas;
- IV. Conservar y manejar el medio ambiente;
- V. Buscar la transformación tecnológica y la adaptación de tecnologías y procesos acordes a la cultura y los recursos naturales de los pueblos indígenas y las comunidades rurales;
- VI. Reorganizar y mejorar la eficiencia en el trabajo;
- VII. Mejorar la calidad de los productos para su comercialización

- Los tres órdenes de gobierno, impulsarán las actividades económicas en el ámbito rural. Todo lo anterior se planea para incrementar la productividad y la competitividad en el ámbito rural, en toda la cadena (de comunidad a municipio, de municipio a estado y de estado a federación), Todo se organizará mediante la los Distritos de desarrollo Rural en los tres ordenes de gobierno.
  - Lo dispuesto en este precepto se propiciará mediante:

- I. El impulso a la investigación y desarrollo tecnológico agropecuario, la apropiación tecnológica y su validación, así como la transferencia de tecnología a los productores, la inducción de prácticas sustentables y la producción de semillas mejoradas incluyendo las criollas;
- II. El desarrollo de los recursos humanos, la asistencia técnica y el fomento a la organización económica y social de los agentes de la sociedad rural;
- III. La inversión tanto pública como privada para la ampliación y mejoramiento de la infraestructura hidroagrícola, el mejoramiento de los recursos naturales en las cuencas hídricas, el almacenaje, la electrificación, la comunicación y los caminos rurales.

Los apoyos a la reconversión productiva en la actividad agropecuaria y agroindustrial se orientarán a impulsar preferentemente: I. La constitución de empresas de carácter colectivo y familiar, o que generen empleos locales; II. El establecimiento de convenios entre industrias y los productores primarios de la región para la adquisición de materias primas; III. La adopción de tecnologías sustentables ahorradoras de energía; y IV. La modernización de infraestructura y equipo que eleve su competitividad.

Los apoyos que se otorguen deberán orientarse, entre otros propósitos, para: I. Modernizar la infraestructura del productor y sus equipos; II. El establecimiento de convenios entre industriales y productores primarios; III. La constitución de empresas de carácter colectivo y familiar; IV. La asociación de productores mediante la figura jurídica que más convenga a sus intereses, siempre que se sitúe en el marco legal vigente; V. La inversión en restauración y mejoramiento de las tierras y servicios ambientales; VI. La adopción de tecnologías sustentables ahorradoras de energía; y VII. Los demás que establezca la Comisión Intersecretarial, con la participación del Consejo Mexicano.

La Comisión Intersecretarial, con la participación del Consejo Mexicano, promoverá la integración del Sistema Nacional de Financiamiento Rural con la banca de desarrollo y la banca privada y social, las cuales desarrollarán sus actividades de manera concertada y coordinada

En lo que tiene que ver con Seguridad y Soberanía alimentaría, el Estado establecerá las medidas para procurar el abasto de alimentos y productos básicos y estratégicos a la

población, promoviendo su acceso a los grupos sociales menos favorecidos y dando prioridad a la producción nacional.

Artículo 179.- Se considerarán productos básicos y estratégicos, con las salvedades, adiciones y modalidades que determine año con año o de manera extraordinaria, la Comisión Intersecretarial, con la participación del Consejo Mexicano y los Comités de los Sistemas-Producto correspondientes, los siguientes: I. maíz; II. caña de azúcar; III. frijol; IV. trigo; V. arroz; VI. sorgo; VII. café; VIII. huevo; IX. leche; X. carne de bovinos, porcinos, aves; y XI. pescado.

Las acciones para la soberanía y la seguridad alimentaria deberán abarcar a todos los productores y agentes intervinientes, *impulsando la integración de las cadenas productivas de alimentos*.

Para cumplir con los requerimientos de la seguridad y soberanía alimentaria, el Gobierno Federal impulsará en las zonas productoras líneas de acción en los siguientes aspectos:

- I. La identificación de la demanda interna de consumo de productos básicos y estratégicos, y a partir de ello conducir los programas del sector para cubrir la demanda y determinar los posibles excedentes para exportación, así como las necesidades de importación;
- II. La identificación de los factores de riesgo asociados con los alimentos, para la elaboración de diagnósticos que permitan establecer acciones en campo o comerciales para asegurar el abasto;
- III. La definición de acciones de capacitación y asistencia técnica, y el impulso a proyectos de investigación en las cadenas alimentarias;
- IV. El impulso de acciones para mejorar y certificar la calidad de los alimentos y desarrollar su promoción comercial;
- V. El establecimiento de compromisos de productividad y calidad por parte de los productores, dependiendo del tipo de productos de que se trate, sean los de la dieta básica o los destinados para el mercado internacional;
- VI. La elaboración y difusión de guías sobre prácticas sustentables en las diferentes etapas de las cadenas agroalimentarias;
- VII. La instrumentación de programas y acciones de protección del medio ambiente para la evaluación de los costos ambientales derivados de las actividades productivas del sector; y
- VIII. La aplicación de medidas de certidumbre económica, financiera y comercial que garanticen el cumplimiento de los programas productivos agroalimentarios referidos en el artículo 180.

Aunado a lo anterior, la presente Ley refleja que es de suma importancia la Comisión Intersecretarial para el buen funcionamiento de la Ley, las atribuciones de la CI:

- Distribuir los recursos económicos a los agentes que lo soliciten utilizando el mecanismo de reglas de operación.
- Para lograr la optimización de los recursos asignados por la federación se basará en el Programa Especial Concurrente.
- Junto con la participación del Consejo Mexicano, integrará la Política Nacional de Investigación para el Desarrollo Rural Sustentable, la cual será

de carácter multidisciplinario e interinstitucional considerando las prioridades nacionales, estatales y regionales.

- Coordinar el establecimiento y mantenimiento de los mecanismos para la evaluación y registro de las tecnologías aplicables a las diversas condiciones agroambientales y socioeconómicas de los productores, atendiendo a los méritos productivos, las implicaciones y restricciones de las tecnologías, la sustentabilidad y la bioseguridad.

### 2.1.2 Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

Aunado a lo anterior, la Cámara de Diputados en el año 2006 aprobó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, con lo cual pasó a la cámara de senadores para su aprobación; sin embargo, no fue sino hasta el jueves 31 de enero del 2008 que la Secretaría de Energía publicó el decreto de dicha Ley, en el Diario oficial de la Federación. De acuerdo con el documento, la disposición tiene como propósito la promoción y el impulso de los bioenergéticos para coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo. Además establece las bases para promover la producción de insumos para el funcionamiento de la industria de los bioenergéticos, a partir de actividades agropecuarias; reactivando así el sector rural.

El Gobierno Federal se coordinará con los gobiernos de las entidades así como con los gobiernos de los municipios, además, participará con ellos mediante convenios de colaboración. Al igual que la ley de Desarrollo Rural Sustentable, la presente ley de bioenergéticos contempla una Comisión intersecretarial para el Desarrollo de los 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.

Para impulsar, desarrollar e incentivar la producción de los Bioenergéticos, las Secretarías de estado y los Gobiernos de las entidades federativas y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias promoverán la creación de infraestructura para la producción de Bioenergéticos.

Los incentivos estarán dirigidos a personas que contribuyan al desarrollo de la industria de los Bioenergéticos y a la modernización de su infraestructura, a través de la

fabricación, adquisición, instalación, operación o mantenimiento de maquinaria para la producción de Bioenergéticos. Asimismo, considerarán a aquellas personas que realicen investigaciones de tecnología, cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes a la atmósfera, aguas, suelos, sitios, así como la innovación tecnológica en las plantas de producción de Bioenergéticos.

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. La Comisión de Bioenergéticos establecerá las bases para impulsar la investigación científica y tecnológica, así como la capacitación en materia de Bioenergéticos.

El Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable, previsto en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, será la instancia encargada de coordinar y orientar la investigación científica y tecnológica en materia de Insumos, así como el desarrollo, innovación y transferencia tecnológica que requiera el sector.

Las actividades y servicios relacionados con la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución por ductos, así como la comercialización de Bioenergéticos, se sujetarán a permiso previo de la SENER, salvo aquellos que expresamente se excluyan en los criterios y lineamientos a que se refiere la fracción IV del artículo 12 de esta Ley. La SENER informará a la Comisión de Bioenergéticos sobre los permisos que haya otorgado.

## ***2.2 La Agricultura Mexicana (Insumos para Producción de Etanol)***

Actualmente, la SAGARPA (2006) reporta que en México, se cuenta con la tecnología para cultivar alrededor de 20 millones de hectáreas de distintos cultivos, dichos cultivos generan 232 millones de pesos a la economía mexicana. De las 20 millones de hectáreas 7 millones se cultivan de maíz y 662 mil hectáreas de caña de azúcar. A continuación se describen las características más importantes del cultivo de maíz y del cultivo caña de azúcar, esto, tomando en cuenta que serán los principales insumos en la producción de etanol.

### 2.2.1 Antecedentes del Maíz.

La palabra maíz viene de una lengua del caribe; los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, cuyos aborígenes se llamaban “mahiz”. El maíz o milpa guarda muchos y grandes secretos, sus granos significaron: moneda, religión, alimento (pan y vino), para grandes y dispersos conglomerados humanos. El grano posee diversas intensidades de colores: blanco, amarillo, rojo azul, morado, púrpura, negro y pinto.

Junto con el trigo y el arroz constituyen uno de los recursos naturales renovables en toda la historia de la humanidad. Una de sus principales ventajas es su amplia facilidad de adaptación, apenas igualado por el frijol; en suma el cultivo tiene una gran importancia en todos los órdenes de la vida humana, científica, tecnológica, social, económica y política (Reyes, C., 1990).

Según la FAO, el cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz.

Además, la supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Mangelsdorf y Reeves (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año. Crece desde los 58° de latitud norte en el Canadá y Rusia hasta los 40° de latitud sur en el hemisferio meridional. Se cultiva en regiones por debajo del nivel del mar en la llanura del Caspio y a más de 4 000 metros de altura en los Andes peruanos.

Pese a la gran diversidad de sus formas, al parecer todos los tipos principales de maíz conocidos hoy en día, clasificados como *Zea mays*, eran cultivados ya por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz. La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosinte, *Euchlaena mexicana Schrod*, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. Otros creen, en cambio, que se originó a partir de un maíz silvestre, hoy en día desaparecido. La tesis de la proximidad entre el teosinte y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos.

Ha habido introgresión (retrocruzamiento reiterado) entre el teosinte y el maíz y sigue habiéndola hoy en día en algunas zonas de México y Guatemala donde el teosinte puede crecer en los cultivos de maíz. Galinat (1977) señala que siguen siendo viables esencialmente dos de las diversas hipótesis sobre el origen del maíz: la primera es que el teosinte actual es el antecesor silvestre del maíz, y/o un tipo primitivo de teosinte es el antecesor silvestre común del maíz y del teosinte; la segunda es que una forma desaparecida de maíz tunicado fue el antecesor del maíz, y el teosinte fue, en cambio, una forma mutante de dicho grano tunicado.

En cualquier caso, la mayoría de las variedades modernas del maíz proceden de material obtenido en el sur de los Estados Unidos, México y América Central y del Sur. Hay que resaltar que el cultivo actualmente ocupa el primer lugar en la producción agrícola del país. Medina (1997) menciona que su obtención se realiza a través del empleo de una gran variedad de paquetes tecnológicos, desde las más tradicionales hasta los desarrollados por los grandes centros de investigación.

#### **2.2.1.1 Taxonomía y descripción botánica.**

El maíz es un cereal que produce mazorcas con granos amarillos, la altura de la planta depende del tipo de cultivo (riego o temporal) y va de 80cm. a 2m. Aproximadamente. Las hojas, alternas, son largas y estrechas.

Cuadro 2.1. Descripción Botánica del maíz

<b>Nombre Científico:</b>	<b>Zea mays.</b>
Reino:	Plantae
División:	Traqueofita
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotiledónea
Orden:	Cereales
Familia:	Gramíneas

Fuente: Tomado de “El maíz y su conservación”, 1995.

La planta alcanza de medio metro a seis metros de alto. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo más ancho, alargado y flexuoso. Del tallo nacen dos o tres inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en espatas, en la axila de las hojas muy ceñidas. En cada mazorca se ven las filas de granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta. A cada grano le corresponde un largo hilo sedoso que sobresale por el extremo de la mazorca. El tallo de la planta está rematado en el extremo por una gran panoja de pequeñas flores masculinas; cuando el polen ha sido aventado, se vuelven secas y parduscas.

#### **2.2.1.2 Tipo de reproducción (sexual o asexual).**

La reproducción del maíz es sexual, ya que tiene espiga o inflorescencia masculina y mazorca o inflorescencia femenina. La polinización de las plantas se realiza con ayuda del viento, que transporta el polen de una planta a otra (polinización cruzada).

El polen de la panícula masculina, arrastrado por el viento (polinización anemófila), cae sobre estos estilos, donde germina y avanza hasta llegar al ovario; cada ovario fecundado crece hasta transformarse en un grano de maíz.

#### **2.2.1.3 Distribución geográfica de la especie.**

El maíz es una planta gramínea originaria de América, que se extendió por todo el mundo desde la introducción de los primeros granos que llevó Colón de España. El maíz se cultiva en países como Sudáfrica, Rusia, Italia, Portugal, Francia, Egipto, entre otros, principalmente en Latinoamérica: México.

#### 2.2.1.4 Factores ambientales o físicos

Es una planta propia de las tierras calientes y húmedas, pero las condiciones óptimas para los cultivos del maíz son temperaturas mayores de 20 grados y lluvias de 600 a 1000 milímetros por año.

Hay variedades de maíz que se pueden adaptar fácilmente al ambiente. Actualmente no hay ningún país en América Latina que no siembre maíz. En las tierras bajas del trópico se pueden producir varias cosechas al año; en otras regiones se da al menos una. El clima ideal del maíz es con mucho sol, frecuentes lluvias durante los meses de verano, noches cálidas y humedad bastante alta. El maíz es realmente un producto tropical y no puede darse en regiones situadas muy al Norte cuando las noches de verano resultan frías. Excesivas lluvias lo perjudican.

El Maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C, así como bastante incidencia de luz solar, para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C, llega a soportar temperaturas mínimas de 8°C y a partir de los 30°C, pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua, para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C. Es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm. al día, las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua manteniendo una humedad constante, en la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere, siendo la fase de floración el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción obtenida. Se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con PH de 6 a 7 son a los que mejor se adapta, también requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

La siembra se puede realizar de forma manual depositando la semilla en el surco o puede sembrarse con maquinaria de precisión, se lleva a cabo cuando la temperatura del suelo alcance un valor de 12°C, se siembra a una profundidad de 5 cm en llano o a surcos. La separación de las líneas es de 0.8 a 1 m y la separación entre las plantas de 50 a 80 cm.

La cosecha cuando se realiza en forma manual en la denominada “pizca”, que significa separar de la planta las mazorcas para llevarlas a un secado final para almacenar o

para desgranar y conservar el grano. En la recolección de las mazorcas de Maíz se aconseja que no exista humedad en las mismas, más bien que se encuentren secas. Otra forma de recolección es de manera mecanizada donde se obtiene una cosecha limpia, sin pérdidas de grano y más sencilla, para las mazorcas se utilizan las cosechadoras de remolque o bien las cosechadoras con tanque incorporado y arrancan la mazorca del tallo, previamente se secan con aire caliente y pasan por un mecanismo desgranador y una vez extraídos los granos se vuelven a secar para eliminar el resto de humedad. Las cosechadoras disponen de un cabezal por donde se recogen las mazorcas y un dispositivo de trilla que separa el grano de la mazorca, también se encuentran unos dispositivos de limpieza, mecanismos reguladores del control de la maquinaria y un tanque o depósito donde va el grano de Maíz limpio. Otras cosechadoras de mayor tamaño y más modernas disponen de unos rodillos recogedores que van triturando los tallos de la planta, trabajan a gran anchura de trabajo de 5 a 8 filas la mazorca igualmente se tritura y por un dispositivo de dos tamices la cosecha se limpia, para la conservación del grano se requiere un contenido en humedad del 35 al 45%.

El Maíz Grano Blanco se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero también se puede obtener aceite o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El Maíz Grano Amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo, en la actualidad se tiene como destino el consumo pecuario en la alimentación del ganado y en la producción de almidones.

#### 2.2.1.5 Panorama

La producción mundial de maíz ha seguido esta tendencia y se ha convertido en el grano de mayor selección mundial, arriba del arroz y del trigo. Durante el periodo señalado, 2000-2006 se ve como la producción de maíz ha crecido más que los otros granos como se ve en el cuadro.

Cuadro 2.2. Producción de los principales cereales en el mundo

<b>Producción-Cantidad (1000 toneladas) en el Mundo</b>			
<b>Cultivo</b>	<b>Año 2,000</b>	<b>año 2,006</b>	<b>Tasa de Crecimiento</b>

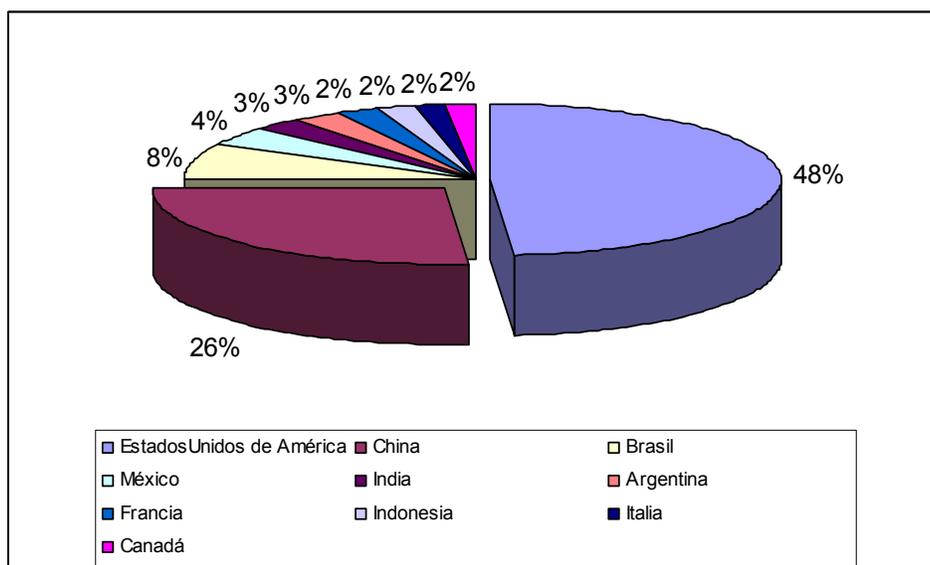
Arroz	598,879,697	634,605,733	6
Maíz	593,224,647	695,228,280	17
Trigo	586,063,404	605,945,825	3

Fuente: FAO 2008.

### 2.2.1.6 Producción mundial de maíz

Reportes de la FAO señalan que los principales países productores de Maíz a nivel mundial son en orden descendente los Estados Unidos, China, Brasil y México, cuya producción en conjunto para el año 2006 ocupa aproximadamente el 86% de la producción mundial (como se ve en la figura 2.2). La India, Argentina y Francia también producen cantidades importantes.

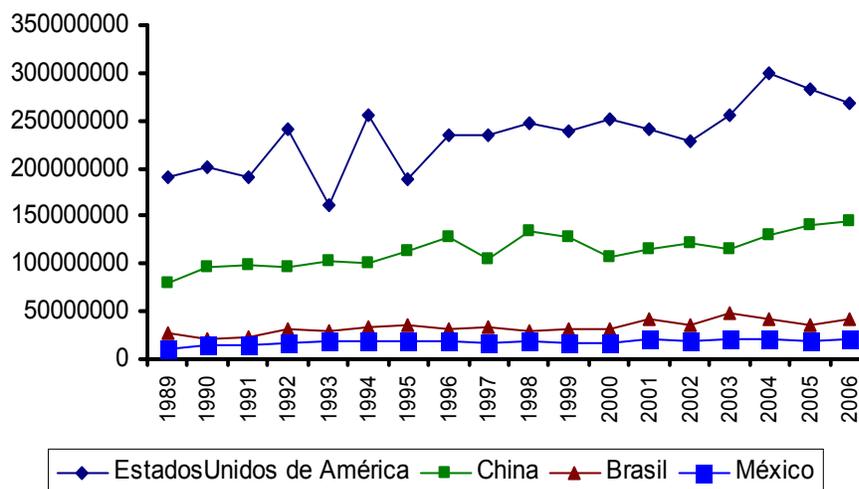
**Figura 2.2. Principales países productores de Maíz.**



Si analizamos el periodo de 1989-2006 en el ámbito internacional (figura 2.3), observamos que en Estados Unidos, la producción de maíz se ha venido reduciendo en los

últimos tres años, debido a problemas de sequía, al contrario de china cuya producción se ha venido incrementando. La FAO estima que para el presente año se espera una contracción en las existencias mundiales del grano, esto debido a los problemas mencionados antes de Estados Unidos, además en China el comportamiento señalado se debe al crecimiento de las exportaciones y al uso interno. Así mismo, se estima disminución de las existencias en países como Brasil, países de África Austral en los cuales hay escasez de alimentos debido a las malas cosechas y en Europa por una leve caída en las producciones, sin embargo en México se ha mantenido una producción constante según la SAGARPA.

**Figura 2.3. Serie Histórica de la Producción de Maíz 1989-2009 (1000 Ton).**



La producción mundial de maíz blanco es relativamente pequeña si se compara con la de maíz amarillo. La FAO estima que el maíz blanco a escala mundial ocupa apenas un 12% de la producción total. En la mayoría de los casos, los países productores de maíz blanco lo destinan a su mercado interno y solo exportan cuando existen excedentes debido a cosechas por encima de lo normal.

### 2.2.1.7 Producción nacional de maíz

En el ciclo agrícola 2006, la superficie sembrada de maíz sumó 8 millones de has., que representa alrededor del 40% del área agrícola nacional, Si lo analizamos por modalidad

veremos que se cultiva cinco veces más maíz en temporal (5,955 mil has), sin embargo, es más productivo el cultivo bajo la modalidad de riego (rendimiento de 6.8 ton/ha).

Dentro de los principales productores destacan Sinaloa (20%), Jalisco (13%), Edo. de México (8%), Chiapas (7%), Michoacán (6%), Guerrero (5%), los cuales contribuyen con mas del 50% de la producción total (ver anexo 1).

El rendimiento nacional promedio durante el año 2006 fue de 2.774 Ton/ha. En los años anteriores (1980-1992) el rendimiento promedio se estimó de 2 Ton/ha, y actualmente 2.774 Ton/ha, el cual resulta sumamente bajo en comparación con las mas de 9.2 Ton/ha que se obtiene en los Estados Unidos. A nivel interno se destacan los estados de Sinaloa con 9.6 Ton/ha y Jalisco con 6 Ton/ha (ver anexo 2).

Entre los factores que destacan en este bajo rendimiento destacan: la existencia de aproximadamente 6 millones de hectáreas con baja productividad; la presencia generalizada de minifundios y la escala aplicada de la ciencia y tecnología a los procesos de cultivo.

Como se ha dicho anteriormente el cultivo del maíz se efectúa prácticamente en todo el país (2,360 municipio, según la SAGARPA, 2008) principalmente en áreas de temporal, aun que en algunos estados con mejor producción que en otro por diferentes situaciones que se dan. En algunos estados tienen mucha maquinaria, insumos, asesoría que les permita tener un mayor rendimiento y por lo tanto más producción como el caso de Sinaloa, Jalisco y Baja California; mientras que en otros la producción es de temporal pero aún así producen mucho por la gran cantidad de superficie sembrada como Chiapas, Oaxaca y Puebla, entre otros.

#### **2.2.1.8 Aspectos de mercado**

El maíz es usado en más formas que cualquier otro cereal, se emplea como alimento humano (maíz blanco) y como alimento para ganado (maíz amarillo), para fermentación y para propósitos industriales. Cada parte de la planta tiene valor económico, el grano, las hojas, el tallo, las espiguillas y aún el elote es usado para producir cientos de comidas y de productos no comestibles. En México y América Central, cunas del maíz, el producto más

común son las tortillas, que son preparadas triturando los granos del maíz en una mezcla de agua y cal para remover la capa externa del grano para posteriormente moler los granos descascarados hasta convertirlos en una masa. La solución de cal mejora el sabor, proporciona las características del moldeado e incrementa la disponibilidad de niacina. La masa es entonces moldeada dentro de algunos recipientes y cocida en alto calor. Las tortillas se comen junto con carnes, salsas y vegetales.

Otros productos alimenticios consumidos en esta región incluyen elotes asados o hervidos y varias preparaciones hechas de granos, como pueden ser los conocidos esquites o elotes. En las naciones del Caribe, el maíz es comúnmente fermentado antes de ser usado como principal ingrediente en sopas y caldos. En Haití los productores del maíz amarillo son hechos de granos molidos y de una masa muy rudimentaria. En las naciones andinas de Sudamérica el maíz es preparado en una gran variedad de formas, en granos asados de maíz todavía verde, granos para palomitas y los elotes con harina son comunes. Los indígenas de Perú desarrollaron un tipo de harinas de maíz conocido como cancha, una comida favorita entre la población.

Contrario a lo que ha ocurrido en otros países el consumo de maíz en México ha presentado una tendencia alcista en los últimos años, lo que aunado a la producción errática ha significado un descenso importante en las existencias nacionales. El consumo de maíz en el año 2006, se ha ubicado en promedio aproximado anual de 25 millones de toneladas, ligeramente superior a la producción nacional que fue de que fue de 20 millones de toneladas.

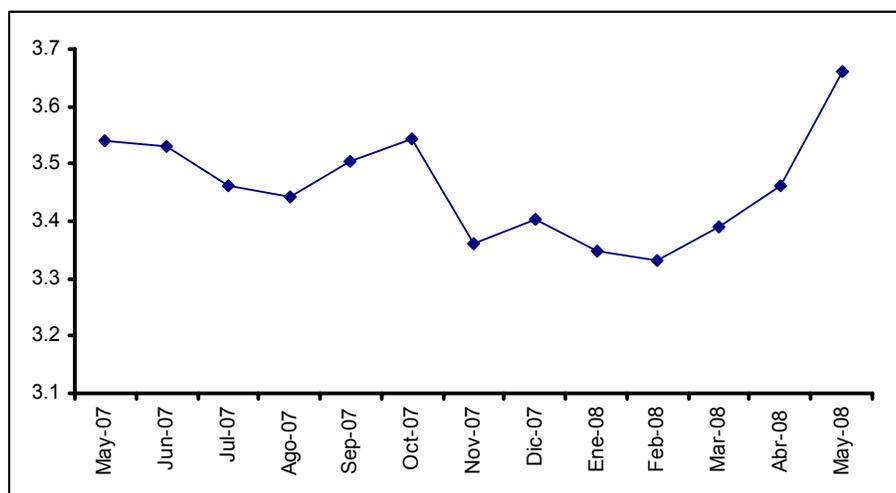
El aumento en la población es un factor importante que incide directamente en el consumo de este producto por lo que entre más gente haya en México, más maíz se consumirá y si el país no es autosuficiente tendrá que depender del exterior.

El promedio de los precios del maíz blanco, según la Secretaría de Economía han oscilado entre los 3 y 4 pesos por kilogramo en las centrales de abasto del país. Es interesante como se distribuye el maíz en México. El maíz de Baja California Sur se vende allí con la Unión de comerciantes de la Paz, el maíz producido en Campeche se vende en la Central de abastos de Mérida, el maíz de Chiapas se vende en Tuxtla. En el caso de Chihuahua, el maíz producido en ese estado, se vende en dos partes, una parte se vende en

la Comarca Lagunera (Torreón Coahuila y Gómez Palacio Durango) y el sobrante en la capital del estado. La producción de maíz se vende en la capital de ese estado. En Guanajuato el maíz es de consumo domestico, se vende en pospartes, una parte en la Central de abastos de León y la otra parte en el Mercado de abastos de Celaya. Jalisco lo vende en su capital. El estado de México lo envía a la Central de Iztapalapa y a la Central de Ecatepec.

El Mercado más dinámico es el del estado de Sinaloa, Sinaloa destina su producción de maíz a los siguientes mercados: Central de Abastos de Iztapalapa, Modulo de Abastos de Irapuato, Central de Abastos de Ecatepec, Nuevo León, Modulo de Abastos de Oaxaca, Mercado de Abastos de Querétaro, Central de Abastos de San Luis Potosí, Central de Abastos de Culiacán, Centros Mayoristas de Xalapa. Por último, la producción de maíz de Sonora se queda en Hermosillo, la producción de Tamaulipas se envía a Nuevo León y Zacatecas una parte se queda en el Mercado de abastos de Zacatecas y la otra se vende en Aguascalientes.

**Figura 2.4. Precios del maíz Mayo 2007- Mayo 2008 (\$/Kg).**

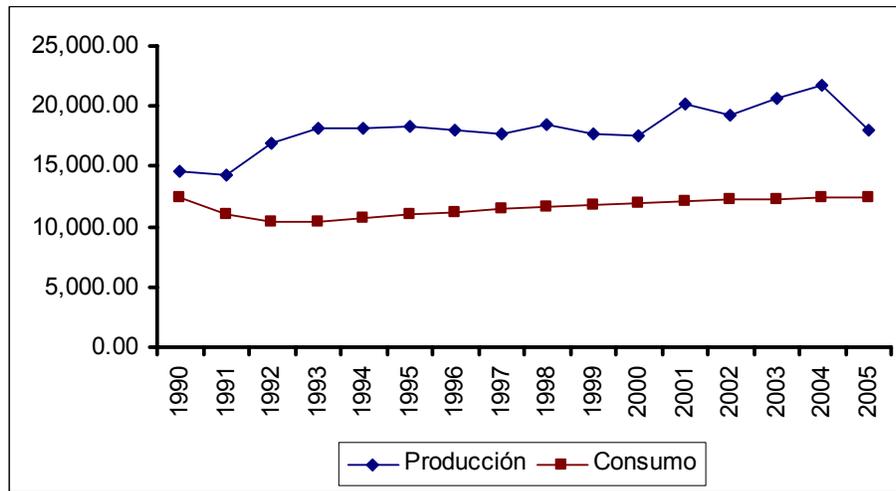


Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaria de Economía 2008.

La oferta de maíz esta compuesta por la producción más las importaciones, en el caso de la producción, esta aumentó en un 40% en el periodo 1990-2005, sin embargo en el año 2006, la producción se recuperó volviendo a la alza con un valor de 21,764,652 ton, esto se puede deber al incremento del precio de la tortilla o a que el 2006 fue un año con alta precipitación. Al graficar la oferta (sin importaciones) y demanda (sólo consumo

humano), se ve que tenemos excedentes en la producción de maíz para el consumo humano, sin embargo no pasa lo mismo cuando se grafica la relación, oferta de maíz (cualquier tipo) y demanda de maíz (cualquier uso).

**Figura 2.5. Serie Histórica de la producción y consumo de maíz blanco 1990-2005 (1000 Ton).**



Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO 2008.

Como ya se mencionó antes, México tiene excedentes en maíz blanco para consumo humano y es deficitario en maíz amarillo. En 2003 se produjeron 19.9 millones de toneladas (MDT) de maíz blanco y la demanda nacional era de 15.7 MDT; en contraste, el mercado de maíz amarillo demandó 8 millones 300,000 toneladas y sólo se produjeron 800,000 toneladas.

En cuestión de importaciones, ha sido gracias a la acción de las organizaciones y a través del Sistema Producto Maíz, que se han regulado las compras de maíz blanco y que la industria harinera venía realizando con fines especulativos. Las importaciones generalmente se realizaban antes de las cosechas nacionales, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.3. Serie histórica de la importaciones de granos 1994-2005 (miles de toneladas).

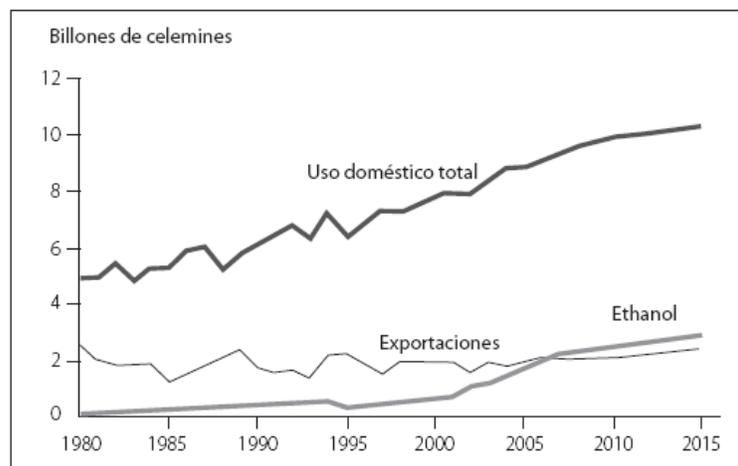
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Amarillo	2,710	2,685	5,843	2,488	5,305	5,469	3,963	4,956	4,757	5,401	5,750	5,352
Blanco	0	0	0	0	0	693	1,138	970	643	269	205	62
Quebrado	0	0	0	0	0	151	260	863	2,030	2,685	2,310	1,656
Sorgo	3,473	2,092	1,683	2,169	3,110	4,566	5,142	5,032	4,717	3,382	3,219	2,088
Total	6,183	4,777	7,826	4,677	8,415	10,879	10,503	11,821	12,147	11,737	11,484	9,157

Fuente: “Maíz: soberanía y seguridad alimentaria”.

A pesar de que, gracias al esfuerzo de los productores, el maíz se ha consolidado como el cultivo más importante de México, en algunos sectores del gobierno y en otros actores del campo impera la idea de que es más barato importar los alimentos básicos que producirlos en México.

Sin embargo, partir del año 2005 Estados Unidos comenzó a utilizar los excedentes de maíz para crear etanol, con lo que sustituyó gran parte de sus exportaciones como lo muestra el siguiente cuadro.

**Figura 2.6. Destino de la Producción de Maíz en los Estados Unidos para Consumo Doméstico, Exportaciones y Producción de Etanol.**



Fuente: Tomado de “Maíz: soberanía y seguridad alimentaria”.

Si se analizan las estimaciones del Departamento de Agricultura de este país, en el segundo lustro de la primera década del 2000, o sea a partir del 2006, se utilizará una mayor cantidad de maíz para la producción de etanol, que la cantidad que se destinará para exportación de este producto.

### 2.2.2 Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los más antiguos del mundo. Algunos estudios realizados señalan que hace más de 5 mil años ya se cultivaba; mientras que otros indican que su antigüedad es de cerca de 3 mil años. En lo que sí existe un acuerdo común es acerca del origen de este producto, situándolo en Asia, concretamente en la India, donde se produjo azúcar por primera vez a partir de la caña. A Europa llegó hacia el siglo IV antes de Cristo gracias a los viajes y conquistas de Alejandro Magno a través de Asia, y posteriormente los griegos la llevaron al Imperio Romano. Los árabes también jugaron un papel importante en la difusión del consumo de caña de azúcar y del dulce que se obtiene. Estos la llevaron hacia Siria y varios países de África del norte, destacando de todos ellos Egipto, porque fue en este país donde los “químicos” egipcios perfeccionan el proceso de refinado.

Así, a raíz de las investigaciones realizadas ha sido posible obtener combustible a partir del bagazo; la fermentación de mieles para obtener alcohol; la obtención de alimentos para ganado; la producción de tablas aislantes, pulpa de papel, y cartón a partir de las fibras del bagazo. Sin embargo, uno de los productos más importantes que se obtiene a partir del cultivo de la caña de azúcar es el combustible. Un gran número de países que no cuenta con una abundante producción de combustibles de origen fósiles ha estado buscando sustitutos, encontrándolo en la producción de alcohol a partir del procesamiento de la caña de azúcar, combustible que no contamina como los de origen fósil y proviene de una fuente renovable, además de ser más económica su producción. Pero a pesar del incremento en los usos de la caña de azúcar, lo cierto es que el mayor uso de ésta se encuentra en la elaboración de azúcar, el edulcorante ampliamente utilizado en todo el mundo.

La SAGARPA hace una ficha técnica de la caña de azúcar y menciona lo siguiente:

- Descripción

La Caña de Azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm. de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la

fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud. En su parte superior encontramos la panocha, que mide unos 30 cm. de largo

- Clima

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la Caña. La Caña de Azúcar es una planta tropical que se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza, hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. Es indispensable también proporcionar una adecuada cantidad de agua a la caña durante su desarrollo, para que permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes. La Caña de Azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno y que su PH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo. Se reportan buenos resultados de rendimiento y de azúcar en suelo de textura franco limoso y franco arenoso.

- Siembra

Se reproduce por trozos de tallo, se recomienda que la siembra se realice de Este a Oeste para lograr una mayor captación de luz solar. El material de siembra debe ser de preferencia de cultivos sanos y vigorosos, con una edad de seis a nueve meses, se recomienda utilizar la parte media del tallo, se deben utilizar preferentemente esquejes con 3 yemas. El tapado de la semilla se puede realizar de tres formas: manualmente utilizando azadón, con tracción animal ó mecánicamente. La profundidad de siembra oscila entre 20 a 25 cm, con una distancia entre surco de 1.30 a 1.50 m. La semilla debe de quedar cubierta con 5 cm de suelo, el espesor de la tierra que se aplica para tapar la semilla no sólo influencia la germinación y el establecimiento de la población, sino también el desarrollo temprano de las plantas.

- Cosecha

La faena de la recolección se lleva a cabo entre los once y los dieciséis meses de la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen y la corteza de la capa se vuelve quebradiza. Se quema la plantación para eliminar las

malezas que impiden el corte de la Caña. Aunque se han ensayado con cierto éxito varias máquinas de cortar caña, la mayor parte de la zafra o recolección sigue haciéndose a mano. El instrumento usado para cortarla suele ser un machete grande de acero con hoja de unos 50 cm de longitud y 13 cm de anchura, un pequeño gancho en la parte posterior y empuñadura de madera. La Caña se abate cerca del suelo y se corta por el extremo superior, cerca del último nudo maduro, ya cortadas se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o a máquina para su transporte al Ingenio, que es un molino en el cual se trituran los tallos y se les extrae el azúcar. El azúcar se consigue triturando los tallos y macerando con poderosos rodillos estriados de hierro y se someten, simultáneamente, a la acción del agua para diluir el jugo ya que contiene alrededor del 90% de sacarosa existente en la Caña. El jugo se trata con cal y se calienta para que se precipiten las impurezas; se concentra luego por evaporación y se hierve para que cristalice. Posteriormente se dejan enfriar los cristales y se refina la melaza: se disuelve en agua caliente y se hace pasar a través de columnas de carbón gracias a lo cual los cristales se decoloran.

- Costo de Producción

El costo de cultivar una hectárea de caña de azúcar en el Estado de Veracruz es de \$26,722.84, si consideramos que de una hectárea se obtienen 70 toneladas, se obtiene un costo de \$381.7 por tonelada producida. Del 30%-40% de costo total se refiere al concepto de limpieza del terreno que incluye el chapeo y desvare, otros costos significativos son la aplicación de fertilizantes y la cosecha.

- Usos

La Caña de Azúcar se utiliza preferentemente para la producción de Azúcar, adicionalmente se puede utilizar como fuente de materias primas para una amplia gama de derivados, algunos de los cuales constituyen alternativas de sustitución de otros productos con impacto ecológico adverso (cemento, papel obtenido a partir de pulpa de madera, etc). Los residuales y subproductos de esta industria, especialmente los mostos de las destilerías contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten su reciclaje en forma de abono, alimento animal, etc. En este sentido es importante señalar el empleo de la cachaza como fertilizante, las mieles finales y los jugos del proceso de producción de azúcar pueden emplearse para la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable y la incorporación de los derivados

tradicionales (tableros aglomerados, papel y cartón, cultivos alternativos para alimento animal y mieles finales). Una pequeña parte la producción de Caña de Azúcar tiene fines de producción de piloncillo, el cual se obtiene de la concentración y evaporación libre del jugo de la caña, también es conocido como panela. El piloncillo tiene varios usos, como materia prima en la industria de la repostería, pastelería, y como endulzante en diversos alimentos y también se usa para la elaboración de alcohol y otros licores. Otra cantidad de caña aún más pequeña se utiliza como fruta de estación, aunque se vende todo el año, se concentra en la temporada navideña para las piñatas y el tradicional ponche.

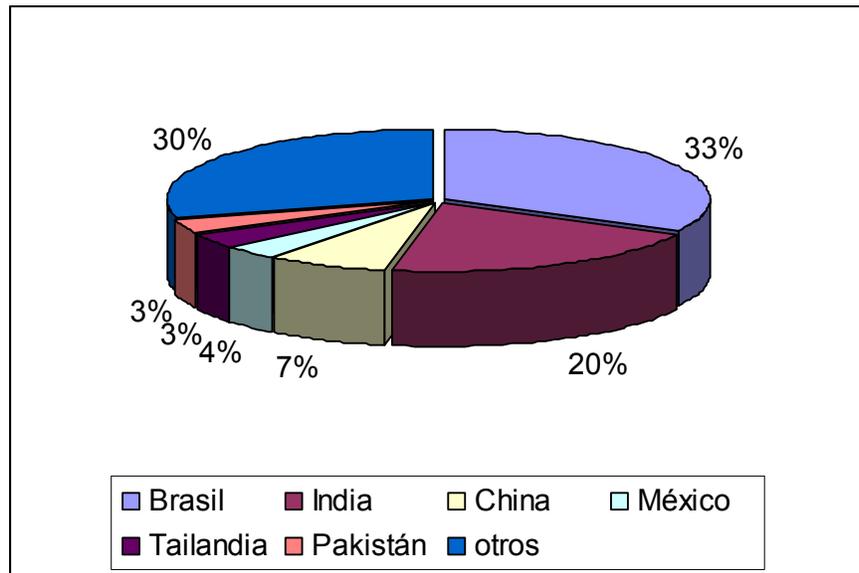
#### **2.2.2.1 Principales productores de caña**

En los últimos diez años, la superficie mundial cultivada con caña de azúcar prácticamente no ha registrado cambios de importancia, ubicándose entre 19 y 20 millones de hectáreas y una tasa de crecimiento de 0.8% entre los años de 1996 y 2006.

Como se señaló previamente, el cultivo no puede darse en cualquier país, sino que se da en un clima tropical o subtropical, de allí que la mayoría de los principales países productores se encuentren en Asia y América Central y del Sur y unas cuantas regiones de Europa.

De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), aproximadamente el 70% de la superficie cultivada con caña de azúcar se encuentra en seis países: Brasil, India, China, México, Tailandia y Pakistán. De este conjunto de país destacan los casos de China, cuya superficie cultivada registró un crecimiento del 4.5% entre los años de 2000 y 2006, seguido por India con 4.1% y Brasil con 1.5%; mientras que Tailandia, Pakistán y México, observaron descensos en la superficie destinada al cultivo del 7.4%, 5.4% y 2.4%, respectivamente.

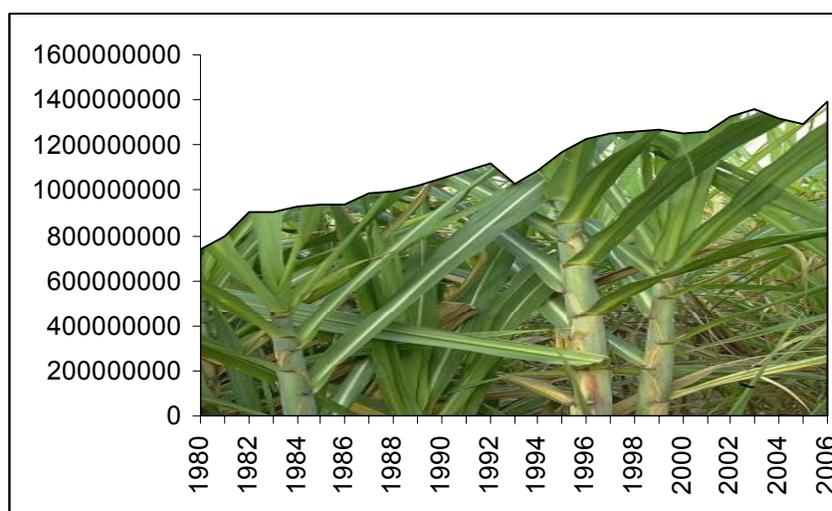
**Figura 2.7. Principales países productores de Caña de Azúcar (%).**



Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 2008.

La producción mundial de caña de azúcar tampoco muestra un crecimiento relevante en el periodo de estudio, siendo del 2.6% entre los años de 2000 y 2006. Este crecimiento en la producción de caña que se ubica en promedio anual en 1,271 millones de toneladas, ha estado más bien vinculado con el crecimiento en la productividad de los campos que por una mayor superficie destinada al cultivo, ya que mientras que ésta no creció por arriba del 1%, en el periodo antes señalado, los rendimientos lo hicieron en 1.8%.

**Figura 2.8. Producción Mundial de Caña de Azúcar 1000 Toneladas.**



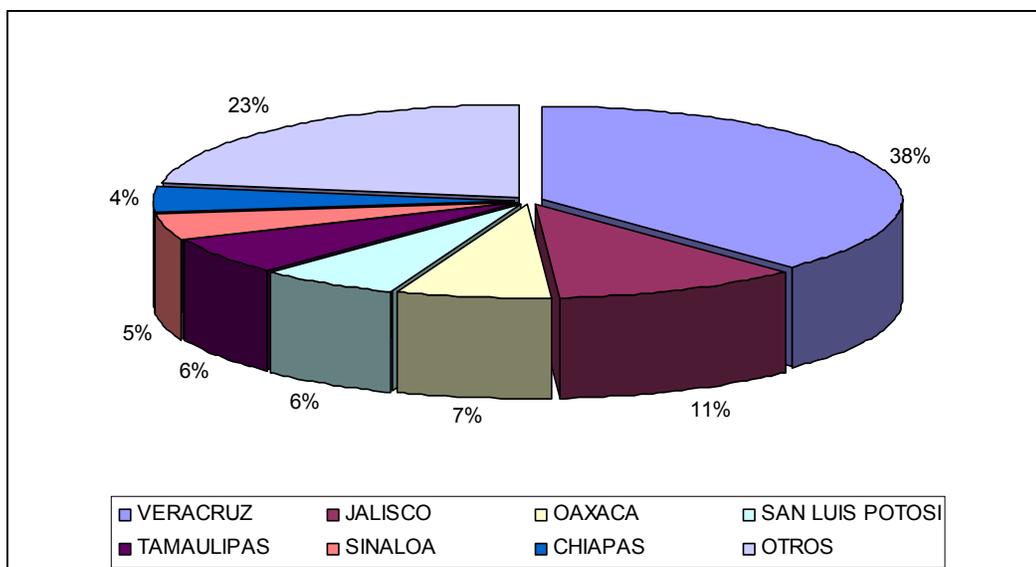
Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 2008.

Según la base de datos del Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción promedio anual de caña de azúcar en México, en los últimos cinco años, fue de 631.2 mil hectáreas, con una tasa de crecimiento de apenas 0.26% en este lapso. De esta superficie se obtuvo una producción promedio anual, de 45.15 millones de toneladas, con lo cual se obtiene un rendimiento promedio, de 71.7 toneladas por hectárea.

Es importante señalar que la productividad en los campos cañeros de México se encuentra por arriba del nivel promedio de los principales países productores ya que, salvo en India donde el rendimiento promedio es de 70.4 toneladas por hectárea, el resto de los países no supera las 70 toneladas, lo cual sin duda es un indicador del potencial productivo que tiene nuestro país frente al resto de los países productores.

La superficie cultivada con caña de azúcar en nuestro país se distribuye principalmente en seis estados de la República: Veracruz, donde se cultiva 39.2% del total nacional; Jalisco con 10.5%; San Luis Potosí con 9.1%, Tamaulipas con 6.7%, Oaxaca con 6.6% y Chiapas cultivando 3.7% del total nacional.

**Figura 2.9. Principales Estados productores de Caña de Azúcar en México.**



**Fuente: Elaboración Propia con datos de la SAGARPA, 2008.**

De todos estos estados el caso más relevante es el de Chiapas, que ha ido ganando una mayor participación como productor de caña de azúcar al incrementar la superficie destinada al cultivo, la cual creció en 48.4% entre los años de 2000 y 2006. Pero no sólo destaca como el estado que ha destinado una mayor superficie al cultivo, sino que también se ha convertido en el de mayor productividad, ya que el rendimiento promedio anual de esta entidad ha llegado a superar las 90 toneladas en los últimos años, es decir, prácticamente 50% más que el promedio mundial. Con esta mayor superficie cultivada y los altos niveles de productividad, Chiapas pasó de aportar 3.35% de la producción nacional de caña de azúcar en el año 2000 al 5.24% en el año 2006.

#### **2.2.2.2 Comercio mundial de caña de azúcar.**

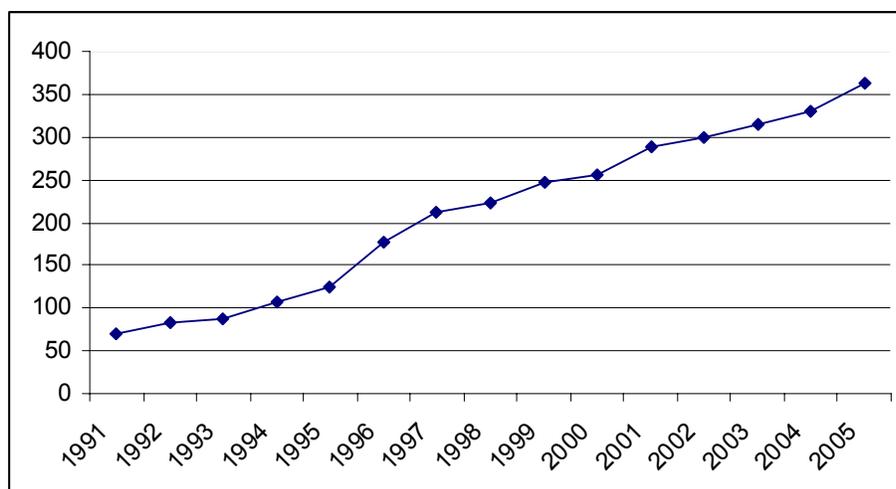
Se puede decir que el comercio mundial de caña de azúcar es relativamente bajo en cuanto al volumen comercializado, ya que en el año 2005, último año para el cual se tiene información en la FAO, el comercio mundial de caña de azúcar, medido por las exportaciones, se ubicó en 78.16 mil toneladas, contra más de un millón trescientas mil que se produjeron en el mismo año. Esta situación obedece a que la mayoría de los países productores de caña tienen la infraestructura para procesar el producto, en primer lugar; y en segundo, la poca vida que tiene la caña después de cosechada, de allí que no sea posible incrementar el comercio en mayores volúmenes.

Sin embargo, y pese al bajo volumen comercializado, en los últimos años el comercio mundial de caña de azúcar ha ido creciendo lentamente, donde las exportaciones aumentaron en 50% entre los años de 1990 y 2005. Dentro de los principales países exportadores de caña de azúcar están Colombia, Malasia y China, los cuales en conjunto exportan 94% (FAO, 2008) del total mundial, y salvo Malasia que registró una caída en sus exportaciones del 79.2% entre los años de 1997 y 2002, el resto presentan tasas de crecimiento mayores al 30%, en el mismo lapso.

En cuanto a los países importadores del producto, destacan por su importancia China, Venezuela y Singapur, quienes en conjunto compran 89% del total mundial, destacando el caso de Singapur, cuyas importaciones crecieron en 61% entre los años de 2000 y 2004; mientras que las de China lo hicieron en 7.1% y las de Venezuela cayeron en 55.6%, en el mismo lapso.

Los precios de la caña de azúcar son variantes, además, se rigen por las leyes de la oferta y demanda, en la siguiente figura se ve como se han incrementado en los últimos años y seguirán con esta tendencia alcista debido a los altos precios del petróleo que impactan a la economía mundial. Si tomamos el costo de producción reportado por la SAGARPA en el año 2005 es de 277\$/ton y el precio del año 2005 es de 363\$/ton, la utilidad neta obtenida de un productor de caña es de 86\$/ton. La caña en México tiene un rendimiento promedio de 70 toneladas por hectárea, la utilidad por hectáreas de una cosecha de caña en el año 2005 sería de 6020 pesos por hectárea.

**Figura 2.10. Precios de la Caña de Azúcar en México (\$/Ton).**



Fuente: Elaboración Propia con datos de la FAO, 2007.

### 2.3 Fuentes para la producción de Etanol

El etanol es un compuesto orgánico de fórmula  $CH_3CH_2OH$ , es líquido, incoloro, de olor característico, que se funde a  $-114.1^{\circ}C$ , hierve a  $78.3^{\circ}C$  y tiene una densidad de  $0.789g/cm^3$  a  $20^{\circ}C$ . Es miscible en todas las proporciones con el agua y con la mayoría de los solventes orgánicos. La gran mayoría de las veces, la palabra alcohol es utilizada para denominar al alcohol etílico o etanol (López, 1986).

La producción de este compuesto orgánico a partir de fuentes vegetales se remonta hacia varios siglos atrás y se trata en actualidad de un proceso perfectamente establecido, donde el proceso de producción de etanol es una combinación de tecnologías que incluye la aplicación de la microbiología, la química y la ingeniería. En dicho proceso, la etapa más importante es la fermentación ya que es aquí donde los azúcares son convertidos a alcohol mediante la utilización de microorganismo tales como las levaduras del género *Saccharomyces*

Las fuentes industriales tradicionales de obtención de azúcares fermentables así como las materias primas de las cuales provienen se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.4. Fuentes de obtención de azúcares

Fuente	Origen principal
Sacarosa	Caña de azúcar, melaza, remolacha

Almidon	Cereales (sorgo, maíz), cassava
Celulosa	Madera, bagazo de caña de azúcar
Carbohidratos residuales	Suero, permeato de quesería, licor sulfítico

Fuente: Cunningham (1994).

### 2.3.1 Etanol obtenido a partir de maíz

Dentro de los cereales, el maíz ha sido el que más se ha utilizado para la producción de etanol debido a su bajo precio en comparación con otros cereales, alta disponibilidad y alta cantidad de almidón.

El maíz es el producto agrícola más común en las fabricas de etanol operantes en los Estados Unidos y para ello se usan dos procesos: molienda en seco y molienda húmeda.

En el proceso de molienda húmeda, el grano de maíz es embebido en agua para iniciar la separación de sus distintos componentes (almidón, germen, aceite, etcétera). Posteriormente, el maíz pasa una serie de procedimientos de molienda y lavado para extraer el almidón. El almidón obtenido durante estos procedimientos es entonces convertido en azúcares simples que son fermentados para producir etanol. Los subproductos del proceso de molienda húmeda incluyen aceite de maíz, alimento de gluten, harina de gluten de maíz y bióxido de carbono.

Cuando la molienda es en seco el maíz es pulverizado hasta obtener una harina fina; luego se adiciona agua hasta obtener una hidratación uniforme para crear un puré. Posteriormente, al fuente de almidón es gelatinizada por medio de un proceso de cocción con vapor a 163°C, iniciando la conversión del almidón en azúcares simples fermentables. Al igual que en proceso húmedo de molienda, los azúcares son fermentados son fermentados para producir etanol. Durante la fermentación las células de levadura convierten los azúcares en etanol y bióxido de carbono. Una vez concluida la fermentación se realiza la destilación.

Cuando el etanol es destinado para uso como combustible, se requiere etanol anhidro. Como el etanol que se produce no presenta dicha especificación, se requiere de un proceso de deshidratación. Durante este proceso se agrega benceno, ciclohexano o éter al etanol de 96% de pureza para crear vínculos entre el agua y el producto químico agregado,

logrando así, la separación del agua del etanol y dando como resultado etanol anhidro. El benceno es el compuesto con mayor uso en la rehidratación.

Dentro de los inconvenientes encontrados en la obtención de etanol a partir de maíz, se tiene que exige el uso de combustible en su proceso de producción; además se requiere para la conversión del almidón a azúcares fermentables el uso de enzimas, que generalmente son muy costosas. Por otro lado, la producción de etanol depende de grandes subsidios y crecientes medidas proteccionistas para su sobrevivencia.

### 2.3.2 Etanol obtenido a partir de caña de azúcar

La caña de azúcar es el colector viviente más eficiente de energía solar en el mundo, almacenando esta energía en una enorme cantidad de biomasa en la forma de fibra y azúcares fermentables.

Este cultivo es de gran importancia en el sector agrícola y, en general, en la economía de muchos países tropicales, ya que se provee empleo no sólo a los trabajadores agrícolas en los campos, sino también a los trabajadores industriales en las fábricas azucareras. Además, es también una fuente importante de captación de divisas.

Como materia prima para la obtención de alcohol, la caña de azúcar es la que presenta mejores perspectivas económicas, al ser la fuente más eficiente para la producción a escala industrial a partir de productos agrícolas. Como puede observarse en el siguiente cuadro, la producción de alcohol combustible (en el caso de la caña de azúcar), es mayor que la relativa al empleo de otras fuentes.

Cuadro 2.4. Producción de etanol por hectárea en distintos cultivos (litros/ha).

<b>Producto</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>
Caña de azúcar	6,000	3,800 a 12,000
Remolacha	4,200	2,300 a 7,800
Yuca (mandioca, cassava)	1,600	500 a 4,000
Papa	2,500	1,000 a 4,400
Arroz (con cáscara)	900	500 a 1,900
Maíz	2,000	250 a 2,800
Trigo	2,000	1,000 a 3,000

Sorgo dulce (tallos)	2,500	1,000 a 5,000
Sorgo (granos)	2,000	2,000 a 5,000
Fuente: Donald Mitchell, 2007.		

Además, el hecho de que el bagazo resultante del proceso puede ser usado como fuente energética para hacer funcionar la destilería, brinda un beneficio adicional para un óptimo balance energético en comparación con otras materias primas.

En lo referente a los costos de producción de etanol por fermentación, el siguiente cuadro muestra la conveniencia del etanol proveniente de la caña de azúcar con relación a otras materias primas agrícolas.

Cuadro 2.5. Costos de producción de etanol (U.S.\$/litro)

Región	Papa	Remolacha	Trigo	Maíz	Caña de azúcar
Europa	0.93	0.62	0.68	0.87	
Brasil					0.28

- Mitchell (2007) menciona que el Costo de producción por galón de:
  - Etanol de caña en Brasil: \$0.9 - \$1 dólar por galón.
  - Etanol de maíz en EUA: \$1.65 dólares por galón.
  - Etanol de celulosa: \$2.65 dólares por galón.
  - Biodiesel de colza en la UE: \$3.25 - \$3.3 dólares por galón.

Para la obtención de etanol a partir de caña de azúcar se tiene que puede ser producido empleando directamente el jugo extraído de la caña o mediante el uso de mieles finales.

Cuando se produce a partir del jugo de caña, se procede de la siguiente manera: la caña es cosechada cuando ha alcanzado su óptima concentración de azúcares (12 a 14° Brix) y transportada en batey. Posteriormente, se conduce al tandem de molinos donde se realiza la extracción del jugo. La extracción se hace por medio de un prensado. El jugo extraído, ya clarificado, se somete a un proceso de fermentación con levadura; la fermentación tiene una duración de varios días y es controlada a una temperatura de aproximadamente 35°C. Concluida la fermentación, se pasa el vino por una centrífuga para

separar a las levaduras del vino y enviar a este último a la destilación. Finalmente el alcohol es recuperado mediante el uso de condensadores.

El rendimiento de etanol cuando se fermenta melazas es de 90% en peso respecto del teórico sobre el azúcar. Durante el proceso se generan dos subproductos en cantidad bastante considerable, que son el bagazo y las vinazas. El bagazo puede ser utilizado como fuente de energía de combustible para calderas. Por otro lado, las vinazas han representado un problema con repercusión en el medio ambiente, por ello la conveniencia de tratar los efluentes resultantes del proceso y generar tanto agua como residuos (lodos), que pueden ser incorporados a los campos de cultivo, dada su gran riqueza en componentes minerales.

### 2.3.3 Etanol obtenido a partir de celulosa

Además de la caña de azúcar, el maíz y otras materias primas, para la producción de etanol se están tratando de utilizar otro tipo de productos tales como residuos agrícolas o industriales con alto contenido de celulosa, a fin de que en un futuro no muy lejano, pueda ser una fuente verdaderamente competitiva como combustible.

Dado que la celulosa es polisacárido estructural de todo el reino vegetal; por estar considerado como el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza y ser una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva continuamente mediante el proceso de fotosíntesis; se han desarrollado investigaciones para aprovechar a la celulosa como fuente de obtención de glucosa para su consiguiente aprovechamiento en la producción de etanol.

En las actuales condiciones energéticas, donde la disminución de los suministros de petróleo es cada vez más evidente, la madera adquiere importancia como fuente potencial en la obtención de alcohol etílico para su uso como energético y de otros productos químicos.

El proceso de obtención de etanol a partir de un sustrato celulósico involucra como etapa fundamental la producción de azúcares fermentables a partir de su principal constituyente, la celulosa.

En este proceso, la madera en trozos alimenta un percolador donde se calienta con vapor de baja presión hasta 130°C. Por otro lado, se alimenta el percolador con 1000 litros de ácido sulfúrico 0.8% por tonelada de manera precalentado a 100°C. El ácido, que es obligado a circular a través del lecho de madera con una presión de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>, transformando la celulosa en azúcares que salen por el fondo del percolador. El tiempo de residencia es de una hora. Este procedimiento se repite diez veces al cabo de la cuales el residuo de lignina es forzado a salir con vapor.

El licor es extraído es despresurizado hasta presión atmosférica se neutraliza con hidróxido de calcio. El sulfato de calcio es generado se separa por decantación y el remanente por filtrado. Finalmente, el jarabe con 4% se azúcares se fermenta con una melaza. Entre los azúcares producidos hay un 20% de pentosas que no fermentan a etanol, pero que pueden recuperarse del fondo de las columnas de destilación y emplearse para la producción de levadura destinada a la alimentación animal.

Dentro de los proyectos que se tienen para el uso de biomasa como fuente energética, Brasil pretende seguir fomentando el desarrollo de la industria productora de etanol a través del uso del bagazo, ya que es una fuente muy abundante de celulosa.

#### ***2.4 Producción de Alcohol Etilico en México***

Uno de los principales usos industriales del azúcar es la producción de alcohol etílico, el que se obtiene a partir de la transformación de las mieles finales como materia prima, alcanzándose cifras anuales de producción superiores a los 50 millones de litros de alcohol de 96° GL, con rendimientos hasta de 250 lts. de alcohol / ton. de melaza.

Cuadro 2.6. Consumo Aparente de Alcohol Etilico (litros)

	<b>Producción</b>	<b>Importaciones</b>	<b>Exportaciones</b>	<b>Consumo Aparente</b>
<b>Años</b>	<b>(A)</b>	<b>(B)</b>	<b>(C)</b>	<b>(A) + (B) - (C)</b>
1990	62365430	47956215	22568862	87,752,783
1991	69024958	52875149	18354291	103,545,816
1992	70991776	38524874	25975482	83,541,168
1993	68313800	45253654	17349584	96,217,870
1994	59078916	51875426	15956418	94,997,924

1995	56252873	55501594	13852889	97,901,578
1996	49082607	80188356	35289216	93,981,747
1997	53231609	115018043	79089954	89,159,698
1998	53125021	65615759	98792564	19,948,216
1999	56245033	67015061	40173639	83,086,455
2000	67050234	127244901	63075466	131,219,669
2001	61626192	163989225	24852663	200,762,754

La producción de alcohol ha enfrentado recientemente diversas restricciones que la han limitado, dentro de las que podemos destacar las siguientes:

- Una elevada carga impositiva;
- Fluctuaciones bruscas en los precios de las mieles en los mercados nacional y de exportación;
- Contaminación ambiental por el desalojo de las vinazas;
- Importaciones de alcohol etílico con fracciones arancelarias distintas (menor pago de impuestos); y
- El uso de tecnología de fermentación atrasada.

La recesión por la que atraviesa la industria azucarera ha llevado a que actualmente (zafra 2001/2002) estén operando prácticamente la mitad de las destilerías que estaban operando a finales de los años ochentas, solamente 16 destilerías. Los ingenios que actualmente cuentan con destilerías en operación son los siguientes: Aarón Sáenz, Calipam, Constanca, El Carmen, El Mante, El Potrero, Emiliano Zapata, Independencia, La Joya, La Providencia, Pujiltic, San Cristóbal, San Nicolás, San Pedro, San Sebastián y Tamazula.

En 1990 se exportaron 22.5 millones de litros, en 1998 se registró la mayor exportación del periodo, 98.8 millones de litros, y en 2001 las exportaciones de alcohol de caña se colocaron en 24.8 millones de litros.

En el año 2000 México exportó 63.1 millones de litros de alcohol etílico cuyo destino se ubicó principalmente en Estados Unidos que concentró el 77.0 por ciento del total y Canadá el 13.9 por ciento (cuadro).

Cuadro 2.7. México: Exportaciones de Alcohol Etílico por País de Destino (litros y porcentaje)

1997 %	1998 %	1999 %	2000 %
--------	--------	--------	--------

Mundo	79089954	100	98792564	100	40173639	100	63075466	100
Estados Unidos de América	61483335	77.7	85160898	86.2	32504244	80.9	48568904	77
Canadá	2094000	2.6	1748000	1.8	1943266	4.8	8742352	13.9
Gran Bretaña e Irlanda	0	0	0	0	3,709,830	9.2	1973702	3.1
Australia	0	0	0	0	0	0	1107928	1.8
Otros	15512619	19.6	11883666	12	2016299	5	2682580	4.3

Fuente: Tomado de “La Industria Alcohólica en México ante la Apertura Comercial”, 2002.

#### 2.4.1 Importaciones

Por su parte, las importaciones de alcohol de caña han mostrado un crecimiento acelerado, pasando éstas de 47.9 millones de litros en 1990 a 164.0 millones de litros en 2001, mientras que al mes de octubre de 2002 estas importaciones ya habían llegado a un nivel de 165.7 millones de litros (ver cuadro 2 del anexo).

Las importaciones de alcohol de caña que México realizó en el año 2000 ascendieron a 127.2 millones de litros, provinieron principalmente de Estados Unidos con el 53.4 por ciento del total de importaciones para ese año, Brasil 16.8 por ciento y Guatemala 14.0 por ciento.

Cuadro 2.8. México: Importaciones de Alcohol Etilico por País de Origen (litros y porcentaje).

	<b>1997</b>	<b>%</b>	<b>1998</b>	<b>%</b>	<b>1999</b>	<b>%</b>	<b>2000</b>	<b>%</b>
Mundo	115018043	100	65615759	100	67015061	100	127244901	100
Estados Unidos de América	72377835	62.9	36599463	55.8	25371717	37.9	68001634	53.4
Brasil	0	0	0	0	5601481	8.4	21328716	16.8
Guatemala	22434000	19.5	11855000	18.1	24606583	36.7	17854138	14
Italia	1004637	0.9	800000	1.2	8700320	13	8857553	7
Cuba	0	0	0	0	0	0	2685563	2.1
España	8	0	0	0	0	0	2483656	2
China	0	0	240	0	0	0	2371480	1.9
Francia	0	0	120	0	97	0	1726325	1.4
<b>Otros</b>	<b>19201563</b>	<b>16.7</b>	<b>16360936</b>	<b>24.9</b>	<b>2734863</b>	<b>4.1</b>	<b>1935836</b>	<b>1.5</b>

Fuente: Tomado de “La Industria Alcohólica en México ante la Apertura Comercial”, 2002.

#### 2.4.2 Uso de etanol como combustible

Hoy en día si no fuera por los problemas asociados con su enorme escala de producción, almacenamiento, transporte y uso, así como a su costo final que resulta todavía demasiado elevado, un combustible automotor viable podría ser el hidrógeno. La electricidad podría

ser otra solución aceptable, aunque habría que resolver los problemas relativos a las restricciones de almacenamiento y a la carga de baterías. A lo anterior habría que agregar que, en el caso del hidrógeno, su uso representa riesgos por ser un material altamente explosivo.

El etanol de biomasa es una solución viable y su uso no tiene las mismas limitaciones que el hidrógeno y la electricidad. Las siguientes razones hacen que el etanol sea un combustible viable y aconsejable:

- Es flexible y puede obtenerse de distintas fuentes de biomasa tales como la caña de azúcar, maíz, remolacha, uvas, sorgo, papas y otros.
- En los países menos desarrollados su producción demanda intensa mano de obra, reduciendo de esta forma la migración rural.
- En los países desarrollados resulta sobresaliente el uso de excedentes de cereales para la producción de etanol de biomasa que de otra manera afectaría los precios de los productos agrícolas así como el ingreso en dicho sector.
- Esencialmente, el proceso de producción consiste en atrapar la energía solar y convertirla en un combustible líquido.
- La tecnología empleada para su producción es bien conocida y se encuentra comercialmente disponible.
- El cultivo de biomasa absorbe bióxido de carbono.
- Es un producto cuya operación, almacenamiento y manejo son inofensivos.
- Es un combustible absoluto, nítido que puede utilizarse puro o mezclas con gasolina.
- Para fomentar el octanaje, el etanol sustituye al plomo en la gasolina y puede emplearse para reducir el contenido de aromáticos en ella. Lo anterior significa ahorros de energía durante el proceso de refinación y una reducción significativa de toxicidad en las emisiones de gasolina del tubo de escape. Dicho proceso se aplica al etil-terbutil-éter (ETBE) que se obtiene de la reacción del etanol con el isobutileno cuyo potencial comercial en Estados Unidos y Europa es enorme.

Por lo anterior, es que el etanol obtenido de fuentes vegetales (principalmente caña de azúcar, maíz y remolacha) o forestales es parte de los biocombustibles, estos, son usados

como complemento o sustituto de la gasolina, incluso como materia prima para elaborar ETBE que es usado como aditivo de las gasolinas denominadas reformuladas.

El uso del etanol como biocombustible contribuye a reducir la contaminación del aire y las emisiones de gases invernadero, sin embargo, el costo de producción es mucho más alto que el precio de mercado mundial de la gasolina. Por tal razón, los esquemas de producción de los países que han desarrollado esta industria a gran escala dependen de apoyos exenciones fiscales directos del gobierno.

La industria mundial de etanol, al igual que el mercado, están avanzando en forma considerable, no obstante se trata de una actividad donde el producto no presenta especificaciones homogéneas pues depende en gran medida del uso final al que estará destinado; por consiguiente los procesos de producción varían de un país a otro.

Los usos del etanol son innumerables, van desde la preparación de bebidas alcohólicas, perfumería, elaboración de medicamentos, acético anhídrido, acetaldehído, etc., hasta la creciente tendencia ya mencionada como sustituto o componente de las gasolinas. Su principal uso dentro de procesos industriales es el de intermediario para producir otros productos químicos. El uso de etanol adquiere importancia en la tendencia actual de producción de combustibles, que son compatibles en el campo de la ecología.

## ***2.5. Comportamiento del etanol como combustible.***

### **2.5.1 Etanol como sustituto de la gasolina**

El primer uso del etanol como combustible data del año 1900, pero debido al insuficiente suministro pronto fue desplazado por los hidrocarburos. Además, a principios de siglo XX el parque vehicular era tan reducido que su efecto sobre la calidad del aire todavía ni se percibía.

En algunos países de América (Brasil y Estados Unidos) y de Europa (Francia y Suecia), el uso intensivo de etanol fue motivado por su habilidad de sustituir a la gasolina. El etanol anhidro se usa mezclado con gasolina en una proporción de hasta 22%, el cual al elevar el octano permite eliminar la adición de tetraetilo de plomo en la gasolina. El etanol

puro o alcohol hidratado (96°GL) es usado como combustible en motores de ciclo Otto adaptados especialmente.

### 2.5.2 Adición de etanol en la gasolina

Con la creación en Brasil del Programa Nacional de Alcohol, Proalcool, mayores proporciones de etanol fueron utilizadas en la mezcla. En 1984, toda la gasolina que se consumió en Brasil fue mezclada con etanol anhidro.

Experimentos patrocinados por el Consejo Nacional del Petróleo de Brasil, probaron que el etanol puede ser añadido a la gasolina en una proporción máxima de 25%, sin daño ni necesidad de cambio de motor convencional de gasolina de ciclo de Otto. Es Estados Unidos, el porcentaje de etanol mezclado con gasolina corresponde a un 10%.

### 2.5.3 Desarrollo de motores de etanol puro

La tecnología de los motores de etanol fue la última respuesta de Brasil al problema de la sustitución de gasolina. Es un tiempo relativamente corto, la industria automotriz brasileña mejoró notablemente la eficiencia de vehículos de etanol.

Productores renombrados mundialmente han sido los grandes forjadores de la historia en el mercado de vehículos de etanol de Brasil. Si en 1979 la tecnología de etanol estaba disponible sólo para carros de pasajeros, hoy el cambio tecnológico también ha alcanzado a los camiones y tractores pesados. En un corto periodo la investigación industrial produjo motores del ciclo de Otto para trabajo pesado diseñado específicamente para correr con etanol puro (General Motors, Ford, Volkswagen, Chrysler, Mercedes-Benz, Massey Ferguson). Otros productores han desarrollado motores que usan diesel y etanol en la llamada tecnología de doble inyección (motor VMW usado por Valmet y Fiat), sin mencionar los motores adaptados para correr con etanol con aditivos (Scania Volvo, Mercedes-Benz).

Actualmente en Brasil, los tractores y camiones de etanol son los medios más comunes de transportación y de trabajos rurales en las regiones productoras de caña. Los tractores ligeros de etanol son también usados perfectamente en el sistema urbano de

distribución. Los avances en la industria del automóvil han jugado un papel importante en el éxito del programa de combustible renovable de este país.

### ***2.6 Ventajas del uso de etanol como componente de gasolina***

El uso de fuentes renovables de energía, principalmente de compuestos oxigenados en la gasolina en forma de alcohol y/o alquil,terbutil-etér, como estrategia para reducir las emisiones de contaminantes peligrosos para la atmósfera, especialmente el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) no quemados, se ha extendido a la mayoría de los países con problemas en la calidad del aire.

La principal ventaja que presenta el etanol es ser un compuesto 100% renovable con alto contenido de oxígeno. Además de acuerdo a la medida (R+M/2) tiene el índice de octano más alto, 115 y la propiedad de actuar como antidetonante o incrementador del octanaje de los hidrocarburos presentes en la gasolina. Las desventajas que se tienen son tener una presión de vapor equivalente a 18 lb/pug<sup>2</sup>, aunque su presión de vapor en estado puro es de 2.3 lb/pug<sup>2</sup>.

Con respecto a los demás oxigenados, se tiene que el uso de ETBE es más conveniente que el MTBE por su mejor índice de octano (112 contra 110), menor presión de vapor, mayor punto de ebullición y menor solubilidad en agua. Sin embargo, el MTBE es mejor en cuanto contenido de oxígeno que el ETBE (18.2 contra 15.7% en peso).

En el caso de México desde 1990 se utiliza MTBE en las gasolinas de mayor consumo nacional, con lo cual su contenido de oxígeno es de aproximadamente 0.9% en peso. El empleo de etanol a través de la reciente implementación, en noviembre de 1998, del programa piloto en Guadalajara, Jalisco y proyecto en evaluación desde agosto del mismo año en el Distrito Federal pretende adoptar una política de promoción en respuesta a un grave problema de contaminación del aire y como opción a diversificar la industria de la caña de azúcar.

#### **2.6.1 Efecto en la calidad del aire**

A diferencia del carbón y el diesel que son mezclas complejas de hidrocarburos con un peso molecular alto y fuertes enlaces de carbono, el etanol es una sustancia de peso molecular muy bajo y enlaces simples por lo que la formación de partículas durante su

combustión es menor. Asimismo, resulta más fácil para los ingenieros automotrices encontrar soluciones para los motores de etanol.

El uso de mezclas de gasolina y etanol (10% en volumen en Estados Unidos y 22% en Brasil) transfiere a la gasolina la mayor parte de los beneficios del etanol, especialmente en lo relacionado con las emisiones de CO<sub>2</sub> que puede reducirse en 60%. El etanol mezclado con gasolina actúa como diluyente de las sustancias tóxicas.

El etanol es un mejor combustible automotriz en términos de calidad de aire. El etanol presenta un índice de octanaje superior al de la gasolina y tiene una presión de vapor inferior, lo cual reduce las emisiones contaminantes. El Premio Nóbel de Química, Mario Molina, ha mencionado que usar etanol como combustible con el argumento de que se protege al medio ambiente puede no ser tan válido. “No se puede usar calidad de aire como un factor determinante para utilizar etanol en vez de gasolina.” El etanol se produce con maíz. Al plantar maíz se absorbe bióxido de carbono, pero para convertir el maíz en alcohol se usa una gran cantidad de combustible fósil, entonces resulta que si hacemos todas las cuentas de la producción, se tiene un efecto neutral en la calidad de aire, ni tiene beneficio desde el punto de vista de cambio climático, porque consume mucha energía fósil para producir el etanol.

## **CAPITULO III. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA COSTO BENEFICIO**

El análisis Costo-Beneficio es una herramienta de la escuela neoclásica por excelencia, es por ello que este capítulo comienza haciendo una revisión de la teoría que sustenta a dicha escuela.

### ***3.1 La Escuela Neoclásica y el Análisis Costo Beneficio***

El nacimiento de la escuela neoclásica lo podemos ubicar en el año de 1870, esto se da con la publicación de tres obras en donde se le da énfasis al valor por parte de la utilidad marginal, es decir, los autores aplican el análisis marginal de la utilidad a la teoría de la demanda, concibiendo la idea de la utilidad marginal. Ellos estaban de acuerdo en que la asignación de los recursos era el tema principal de la economía. Las obras son la Teoría de la Economía Política (William Stanley Jevons, Gran Bretaña 1871); los Principios de Economía (Carl Menger, Austria 1871) y los Elementos de Economía Pura (Leon Walras, 1974). En el caso de Jevons opto por pruebas empíricas, Mengler utiliza lógica deductiva abstracta y por último Walras aplica las matemáticas.

Otro autor que contribuyó de manera significativa al desarrollo de la escuela neoclásica fue Alfred Marshall, quien publica sus ideas en 1890 en su libro titulado “Principios de Economía”, en él explica la demanda a partir del principio de de utilidad marginal, y la oferta a partir del costo marginal. En los mercados competitivos, las preferencias de los consumidores hacia los bienes más baratos y la de los productores hacia los más caros, se ajustarían para alcanzar un nivel de equilibrio. Ese precio de equilibrio sería aquel en el que se igualara la oferta y la demanda. Este equilibrio también se alcanza en los mercados de dinero y de trabajo. Podemos mencionar que la doctrina neoclásica es, de forma implícita, conservadora. Los defensores de esta doctrina prefieren que operen los mercados competitivos a que haya una intervención pública. A los neoclásicos no les preocupa la causa de la riqueza, explican que la desigual distribución de ésta y de los ingresos se debe en gran medida a los distintos grados de inteligencia, talento, energía y ambición de las personas. En las sociedades capitalistas, la economía neoclásica es la doctrina predominante a la hora de explicar la formación de los precios y el origen de los ingresos. En el siguiente cuadro se muestran las principales características del pensamiento neoclásico:

Cuadro 3.1: Características esenciales de la Escuela Neoclásica

Puntos	Paradigma neoclásico
1. Concepto de lo económico.	Teoría de la <i>decisión</i> : maximización sometida a restricciones (concepto estrecho de “racionalidad”).
2. Punto de vista metodológico.	Estereotipo del <i>individualismo metodológico</i> (objetivista).
3. Protagonista.	Homo oeconomicus.
4. Posibilidad de que los actores se equivoquen <i>a priori</i> y naturaleza del beneficio empresarial.	No se concibe que existan errores de los que uno pueda arrepentirse, pues todas las decisiones pasadas se racionalizan en términos de costos y beneficios. Los beneficios empresariales se consideran como la renta de un factor más de producción.
5. Concepción de la información.	Se supone información plena (en términos ciertos o probabilísticos) de fines y medios que es objetiva y <i>constante</i> . No distinguen entre conocimiento práctico (empresarial) y científico.
6. Foco de referencia.	Modelo de <i>equilibrio</i> (general o parcial). Separación entre la micro y la macroeconomía.
7. Concepto de competencia.	Situación o modelo de competencia perfecta.
8. Concepto de costo.	Objetivo y constante (se puede conocer por un tercero y medir).
9. Formalismo.	Formalismo <i>matemático</i> (lenguaje simbólico propio del análisis de fenómenos atemporales y constantes).
10. Relación con el mundo empírico.	Contrastación <i>empírica</i> de las hipótesis (al menos retóricamente).
11. Posibilidades de predicción específica.	La predicción es un objetivo que se busca de forma deliberada.
12. Responsable de la predicción.	El analista económico (ingeniero social).
13. Estado actual del paradigma.	Situación de <i>crisis y cambio</i> acelerado.
14. Inversión en capital humano.	Mayoritario y con signos de dispersamiento.
15. Tipo de capital humano invertido.	Especialistas en intervenciones económicas ( <i>piecemeal social engineering</i> ).
16. Aportaciones más recientes en la especialidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoría de la Elección Pública.</li> <li>• Análisis económico de la familia.</li> <li>• Análisis económico del derecho.</li> <li>• Nueva macroeconomía clásica.</li> <li>• Teoría económica de la “información” (<i>economics of information</i>).</li> <li>• Nuevos Keynesianos.</li> </ul>
17. Diferentes especialistas en el Tema.	Coase, Demsetz, Harberger, Samuelson, Buchanan, Stiglitz, Friedman y Becker.

Fuente: Huerta, Jesús (1999), “La Escuela Austriaca moderna frente a la Neoclásica”, Revista Libertas 31, Instituto Universitario ESEADE.

### 3.1.1 Fundadores de la Escuela Neoclásica y el Análisis Costo Beneficio

Los fundadores de la teoría marginal trataron la existencia de un patrón para la medición de la utilidad como algo que no planteaba ningún problema. Menger y Walras nunca plantearon seriamente la cuestión de su medición. Jevons negó primero que la utilidad fuese medible pero luego surgió un procedimiento de medición por la vía de la constancia aproximada de la utilidad marginal del dinero, procedimiento que Marshall adoptó y refinó. Jevons negó también la posibilidad de realizar comparaciones interpersonales de la utilidad, señalando que la teoría de los precios no requería tales comparaciones, pero luego hizo algunos pronunciamientos acerca del bienestar que involucra la medición cardinal y las comparaciones interpersonales. Menger y Walras, en cambio, no vieron ninguna dificultad en la comparación de la utilidad de individuos diferentes. Los tres fundadores de la teoría de la utilidad trabajaron con una fundación llamada utilidad aditiva, que trata de la utilidad de un bien como una función de la cantidad de ese bien, independientemente, de las cantidades consumidas de otros bienes. Prestaron muy poca atención a la forma precisa de la función de utilidad y supusieron una ley de utilidad marginal decreciente como algo basado en experiencia común. Walras utilizó funciones lineales de utilidad marginal en su libro. Las representaciones de Menger implicaban funciones lineales. Jevons trazó la mayoría de sus curvas convexas vistas desde el origen. Ninguno de estos autores admitió excepción alguna a la ley fundamental de la utilidad marginal decreciente, y Jevons se esforzó particularmente por demostrar que no había excepciones.

Además, sólo Walras pudo conectar la utilidad con la demanda, pero tampoco pudo derivar rigurosamente las implicaciones de la utilidad marginal decrecientes para el comportamiento de la demanda. Walras inició su análisis con curvas de demanda dadas y obtuvo sus condiciones antes de decir una sola palabra acerca de la utilidad. Por su parte, Jevons unió la utilidad a la demanda mediante el concepto ilegítimo de los organismos comerciales, y Menger simplemente postuló ciertos precios de la demanda que de algún modo representaban utilidades marginales. Ninguno de estos problemas técnicos de la teoría de la utilidad se aclaró antes del decenio de 1890, y algunos de ellos solo aclararon ya bien entrado el siglo XX. La presentación que hace Marshall de la teoría de la utilidad es superior a la de Jevons o Walras, pero las ediciones subsecuentes de los Principios de Marshall revelaron una cautela y una reticencia creciente, a medida de que el trabajo de Edgeworth, Fisher y Pareto empezó a minar las nociones anteriores de la mensurabilidad,

la actividad y la compatibilidad. Antes de examinar la solución dada por Marshall a algunas de estas dificultades técnicas de la teoría de la utilidad, debemos reseñar los problemas teóricos que frenaron el progreso analítico en esta área.

Otro de los fundadores, **Menger** expresa sus ideas y mediante un análisis exhaustivo, el resultado de su investigación es la obra titulada “*Principles of Economics*”, éste libro marca el inicio de la escuela neoclásica. Iniciando el análisis a partir de un bien, el autor hace la abstracción de los distintos conceptos económicos y los analiza, con esto, conforme avanza el análisis sigue el hilo conductor de la obra para describir cuestiones tan importantes como la racionalidad del individuo, así como la manera en que el consumidor selecciona el bien que mayor le satisface entre otros tópicos. La finalidad de incluir el análisis de Menger en la presente investigación es la de poder tener una referencia histórica del análisis Costo-Beneficio en la Economía.

### ***3.2 Análisis Costo-Beneficio (C-B)***

En distintos manuales de macroeconomía, macroeconomía y libros en general así como algunos economistas<sup>3</sup> han realizado estudios utilizando el análisis C-B y concuerdan con que es una herramienta muy práctica para los distintos campos de las ciencias sociales donde se involucren decisiones, tal es el caso de la Ciencia Política, Ciencias Administrativas, Políticas Públicas y por supuesto la Ciencia Económica, entre otras. Todos ellos concuerdan que el C-B es un instrumento actual que es utilizado en estos campos de las ciencias sociales.

**Stiglitz**, en su libro “Economía del Sector Público” describe como es que la empresa tiene que tomar constantemente decisiones sobre la conveniencia de emprender determinadas inversiones. El procedimiento que siguen puede dividirse en cuatro etapas.

1. Identificar el conjunto de proyectos posibles que deben examinarse. Es por ello que la primera fase consiste en enumerar las principales opciones.
2. identificar todas las consecuencias de estas posibilidades. A la empresa le preocupa principalmente los factores que tiene que pagar y los productos que puede vender.

---

<sup>3</sup> K. J. Arroz, R. Dorfman, M. S. Feldstein, A. C. Harberger, J. Flowerdew, N. W. Mansfield, S. A. Marglin, R. N. McKean, E. J. Mishan, J. Stiglitz, al igual que el Profesor Hal Varian.

3. Asignar un valor a cada uno de los factores y de los productos. La empresa tendrá que estimar los costos de los diferentes tipos de trabajo a los largo de la vida de la fábrica; tendrá que estimar los costos de otros factores.
4. Sumar los costos y los beneficios para hallar la rentabilidad total del proyecto.

La empresa realizará el que genere el mayor beneficio (la diferencia máxima entre los beneficios y los costos), naturalmente siempre que los beneficios sean positivos, de lo contrario se invertirá en otro lugar.

Otro economista que realiza un análisis más detallado del análisis C-B es el destacado Profesor **Hal R. Varian** en su publicación de Microeconomía Intermedia, que a diferencia de Joseph Stiglitz, Varian analiza por separado los Costos y los Beneficios de manera formal en la empresa, es decir, a través de ecuaciones minimiza los costos y maximiza los beneficios, dicho análisis es interesante ya que permite realizar un examen minucioso de las distintas variables que intervienen en los costos y beneficios así como representarlos de manera gráfica para continuar con la exploración de las variables de manera estática.

Al comenzar con la maximización del beneficio, el autor define los beneficios como los ingresos menos los costos. En la expresión del costo se asegura de que se incluyen todos los factores de producción que utiliza la empresa (costos fijos, variables, de oportunidad, etc.), valorados a su precio de mercado. En el desarrollo del estudio realiza de manera formal la maximización del beneficio a corto plazo y a largo plazo, concluyendo con las condiciones de optimalidad que maximizarían el beneficio, siempre y cuando se respeten los supuestos que el autor va introduciendo. En el caso de la maximización a largo plazo considera los rendimientos a escala, otro concepto que aborda el autor en el análisis es la rentabilidad revelada y lo define de la siguiente manera, “Cuando una empresa maximizadora del beneficio elige sus factores y sus productos, revela dos cosas: en primer lugar, que los factores y los productos utilizados representan un plan de producción *viable*; y, un segundo lugar, que estas decisiones son más rentable que otras también viables que podría haber tomado” (Varian, 1999).

En el libro “*A Guide to Benefit-Cost Analysis*”, **E. M. Gramlich** discute sobre el análisis B-C y muestra la importancia de la herramienta y el uso de la misma, así como sus limitaciones. Es interesante la manera en que Gramlich explora el C-B, ya que durante todo

el libro aplica ejemplos de la realidad que vivió cuando formó parte del Congreso, como Director de la Oficina de Presupuesto del Congreso. El objetivo del libro es clarificar la idea que se tiene sobre el tema, en la primera parte introduce al lector sobre los alcances de la herramienta, además muestra la evolución del B-C y menciona como en la vida cotidiana siempre se está utilizando la herramienta a la hora de decidir en que restaurante comer, el tipo de carro que deseas comprar.

Además, asegura que la aplicación del análisis C-B es más complejo cuando el gobierno tiene que decidir (construir una presa, realizar viviendas, construir una planta de etanol, etc.), que cuando la decisión la toma la iniciativa privada, la diferencia radica en que las empresas toman los precios de mercado y el gobierno tiene que tomar los precios que reflejen con precisión los costos sociales. Además, la iniciativa privada analiza los problemas desde su propia perspectiva, mientras el gobierno lo hace pensando en masas sociales, por lo anterior es que el análisis B-C es más interesante cuando se revisan proyectos con inversión pública que los que tienen que ver con las empresas.

**Layard** en su libro **Análisis Costo-Beneficio** recopila todos los estudios que se han abordado sobre la herramienta C-B por distintos economistas lo siguiente: El problema surge en ¿Cómo medir los costos y los beneficios?

El principio básico es que debemos estar dispuestos a asignar valores numéricos a los costos y los beneficios, y a tomar decisiones sumándolos y aceptando los proyectos cuyos beneficios superen a sus costos. El segundo paso consiste en deducir en el bienestar social implicando por todos los cambios en el bienestar individual.

Además, el objetivo fundamental del gobierno es la maximización del beneficio social, sujeto a restricciones que queden fuera de su control, como los gustos, tecnología y las dotaciones de recursos; esto es debido a la incapacidad de los mercados libres. Hay tres métodos de intervención: impuestos, subsidios y producción pública. Es importante resaltar que el análisis C-B permite la toma de descentralizada de decisiones.

Sólo se tomará decisiones si los precios empleados por los tomadores de decisiones reflejan en forma correcta los valores sociales de insumos y productos en el óptimo social, o lo que suele llamarse sus “precios sombra”.

En términos generales las valoraciones que debe hacerse en todo análisis costo-beneficio se engloba en cuatro rubros principales.

1. La valoración relativa de diversos costos y beneficios en el momento en que ocurren.
2. La valoración relativa de C-B que ocurren en distintos momentos el problema de preferencia del tiempo y el costo oportunidades del capital.
3. La valoración de resultados riesgosos.
4. La valoración de C-B que afectan a individuos de ingresos diferentes.

### 3.2.1 Medición de C-B

Surgen dos problemas principales en la valoración de los beneficios netos cuando ocurren.

- a) En el caso de productos del mercado, los precios del mercado pueden estar modificadas (por los impuestos o el monopolio, por ejemplo) o reflejar un desequilibrio del mercado (problemas de desempleo o de balanza de pagos, por ejemplo).

Un ejemplo del *Monopolio*. Supongamos primero que nuestro proyectado puente requiere cemento producido por un monopolista y vendido a un precio mucho mayor que su costo marginal. ¿Deberá emplearse su precio de mercado o su costo marginal de producción?

La respuesta, como ocurre siempre con los precios sombra, es que todo depende de la forma en que se ajuste el resto de la economía cuando se realice el proyecto.

En el caso de *impuestos indirectos*. Se aplican principios similares cuando un insumo está sujeto aun impuesto indirecto. Emplearemos el precio de la oferta del producto si esperamos que la producción aumente en el monto total de la demanda del proyecto, y el precio de la demanda si no esperamos un aumento de la producción.

*3.2.1.1 Desempleo*. Supongamos que el puente será construido por trabajadores que de otro modo estaría desempleados. Si no hay costos macroeconómicos por su empleo (tales como una aumento en la inflación, o disminuciones en la inversión privada), el costo no será su

salario sino el valor de su ocio perdido. Éste es menor que su salario si están desempleados de modo involuntario.

Hay otro problema en relación con el componente de *divisas* de los costos y los beneficios. Suele ser considerable este componente, sobre todo cuando se toman en cuenta los efectos indirectos (importaciones, exportaciones, monedas sobrevaluadas).

En el caso de productos que no van al mercado (incluidos los bienes públicos y los efectos externos de los productos del mercado), necesitamos inventar métodos de valoración (por ejemplo, para el tiempo, las actividades recreativas, la vida, etcétera).

### 3.2.1.2 El precio de los bienes que no se venden en el mercado

En el caso de los bienes y servicios que no se venden en el mercado, ni siquiera tenemos un precio de mercado como punto de partida. En consecuencia, el valor marginal asignado por la gente al bien (A), por el no paga dinero directamente, debe inferirse del dinero que tendrían que pagar por un bien (B) que demuestre que tiene igual valor. Por ejemplo, el tiempo, campos de recreo, la vida.

### 3.2.2 Tasa social de preferencias del tiempo y el costo social de oportunidad de capital

Como observa Feldstein (lectura 9 del libro de Layard), no hay ninguna razón *a priori* por la que la tasa a la que descontamos los valores de 1983 para hacerlas equivalentes a las de 1982, pero casi invariablemente se formula este supuesto. Si aquí también lo formulamos, el valor de un proyecto (valorado en términos del consumo de hoy) resulta de la siguiente manera:

$$VP = B_0 - C_0 + \frac{B_1 - C_1}{1+r} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n}$$

y el proyecto deberá realizarse si tiene un valor positivo. Por supuesto, el proyecto podría valorarse en términos de las libras en el año  $n$  (multiplicando el valor presente por  $(1+r)^n$ ), o de cualquiera otro año, pero esto no influye en la decisión, puesto que si el valor es positivo en un año, también lo será en todos los demás años, y a la inversa.

La pregunta es: ¿Cómo escogemos la tasa de descuento?

Una tasa de descuento del 5% podría conducir al doble de inversión que una tasa del 10%, junto con una reducción equivalente del consumo. En los países pobres en particular, la elección entre el consumo presente y el futuro es realmente importante. ¿Hasta dónde, en efecto, es legítima la reducción de los actuales niveles de vida en aras del futuro? Para reflexionar sobre esta cuestión conviene a partir de una economía de una sola persona (la de Robinson Crusoe) y aplicar a esta situación las herramientas de la teoría del capital de Irving Fisher.

En el mundo real hay muchos tomadores de decisiones potenciales que, aun cuando no pueden contemplar todo el escenario en conjunto tienen una visión mucho más clara de las posibilidades detalladas que usa una oficina de planeación central. Así pues se justifica la toma descentralizada de decisiones, siempre que el gobierno central fije los precios (incluida la tasa de descuento y la tasa y las reglas de decisión para los agentes individuales que aseguren la consistencia de sus decisiones.

Sin embargo, subsiste el problema agudo de encontrar una cifra para la tasa de descuentos. Se han sugerido tres enfoques principales:

- Usar las tasas de interés después de los impuestos de los bonos a largo plazo libres de riesgo.
- Formular supuestos acerca de la tasa de crecimiento deseada y el mapa de indiferencia interpolar.
- Formular supuestos acerca de la tasa de crecimiento deseada y la curva de posibilidades de producción.

### 3.2.2.1 La tasa de interés del mercado

En una economía mixta el indicador más obvio de la preferencia de tiempo es la tasa de interés del mercado. Se debe de tomar la tasa de interés real del mercado, es decir, descontando la inflación. Con lo anterior podemos afirmar que existe una relación. En sus niveles de equilibrio del consumo, las tasas de preferencia de los prestatarios y los prestamistas se igualan a la tasa de interés. Esto puede significar que la tasa de interés indica la verdadera tasa de preferencia social de tiempo. Lo que podemos afirmar de modo

enteramente dogmático es que las tasas monetarias de interés deben reducirse de manera considerable durante la inflación para obtener una medida de la tasa real de interés. En esto se esta de acuerdo pero subsisten muchos problemas en relación con el empleo de una tasa de interés, aún ajustada como medida de preferencia del tiempo de la sociedad.

#### 3.2.2.2 La incertidumbre de los mercados imperfectos.

Si el futuro es incierto y se utiliza una tasa de interés diferente según el riesgo implicado. Necesitamos una tasa estándar de descuento aplicable a los niveles de consumo conocidos con certeza. A esto se debe que *la estimación más comúnmente empleada de la preferencia de tiempo privada (y social) sea la tasa de bonos gubernamentales a largo plazo (reducida para considerar la inflación esperada y los pagos del impuesto al ingreso).*

Arrow (1969), menciona que no existe tasa de interés libre de riesgo ni hay en realidad bonos a largo plazo cuyo rendimiento nominal sea independiente en tasas de interés futuras y desconocidas, a menos que se conserven hasta su vencimiento. Sin embargo sin la tasa ajustada de los bonos a largo plazo es el mejor indicio sobre su preferencia del tiempo libre de riesgos.

#### 3.2.2.3 La Miopía (o preferencia pura del tiempo)

Un tercer problema planteado por las tasas de interés es el hecho de que reflejan la anticipación *ex ante* de individuo en cuanto al valor relativo de su consumo futuro.

#### 3.2.2.4 Efectos externos de consumo

¿Qué hacemos con el bienestar de las generaciones futuros?

El argumento original acerca de esta paradoja del aislamiento fue propuesto por Sen (1961), desarrollado por Mailing (1961), criticado por Lind (1964) y reformulado por Sen. Su argumento es el siguiente:

- a) Consideremos el equilibrio de un mercado competitivo donde cada individuo toma su propia decisión de ahorro independiente. Respetando los supuestos

correspondientes, el individuo ahorrará hasta que el rendimiento futuro de su ahorro se iguale a su sacrificio presente.

- b) Supongamos ahora que cuando un individuo ahorra una unidad otro individuo ahorra una unidad otro individuo hace lo mismo. Así podría ocurrir si toda la inversión se financiara con impuestos y todos los individuos fuesen igualmente ricos. Y supongamos que la decisión de ahorrar toda una unidad más se toma por referéndum. Entonces cada individuo votará a favor de más ahorro hasta que el rendimiento futuro (en términos de su propia utilidad) de tal ahorro sea igual a su sacrificio presente.

### 3.2.2.5 El bienestar de las generaciones futuras

Supongamos, por ejemplo, que suscribimos la posición ética muy común de que el mejor curso de la acción es aquel cuyas consecuencias preferiríamos si tuviésemos una probabilidad igual de ser cada uno de los individuos afectados por la acción. Entonces es claro que las generaciones futuras deben ser tomadas en cuenta por cuanto son afectadas por la acción. *¿Pero cómo podríamos hacerlo con una tasa de descuento, cuando es en esencia un problema de distribución del ingreso?* La respuesta es que la tasa de descuento es un instrumento poco adecuado. En realidad deberíamos determinar el valor del proyecto para cada uno de los individuos afectados (incluidos los aún no nacidos).

Ahora, nos enfocaremos en una economía de muchas personas, es de presumirse que debemos calcular el bienestar social como alguna suma de las utilidades individuales. Sin embargo supongamos que en cada punto del tiempo el ingreso se distribuye en forma igualitaria. Entonces el bienestar social de un periodo particular depende de la utilidad del consumo *per capita*. Esta es una cuestión de controvertida que afecta profundamente nuestro enfoque del problema de la población óptima. Sin embargo a la tasa de descuento, basta advertir que con una población estática la tasa de descuento es la misma cualquiera que sea la supuesta. Cualquiera que sea el supuesto que formulemos, la tasa de descuento es menor mientras mayor sea la tasa de crecimiento de la población.

El análisis costo-beneficio es una forma de presentación de los factores que deben de tomarse en cuenta cuando se hacen ciertas elecciones económicas. La mayoría de las elecciones a las que se ha aplicado se refieren a proyectos y decisiones de inversión: si

conviene o no un proyecto, cuál es el mejor de varios proyectos alternativos o cuándo debe iniciarse un proyecto particular. Sin embargo, podemos aplicar el término proyecto en forma más general. El análisis costo-beneficio puede aplicarse también a los cambios propuestos de leyes o regulaciones, a nuevos sistemas de determinación de los precios, etcétera. Tales esquemas implican elecciones económicas similares a las de los proyectos de inversión. En virtud de que la elección involucra la maximización, debemos analizar qué es lo que desean maximizar quienes toman las decisiones. La siguiente es la formulación que, como descripción, cubre mejor la mayor parte de los análisis beneficio-costos examinados en la bibliografía que vamos a reseñar: el objetivo es la maximización del valor presente de todos los beneficios menos todos los costos, sujetos a restricciones especificadas.

### 3.2.3 Importancia de C-B:

Si existieran, de modo que la asignación de recursos fuese óptima, la tasa marginal social de preferencia del tiempo y la tasa marginal social de rendimiento de la inversión (ajustada por el riesgo) coincidirían. Entonces una tasa única serviría para comparar los costos y los beneficios.

Mientras tanto advertimos que el problema surge en la medida en que los beneficios de un proyecto se reinvierten o crean oportunidades de inversión, o bien algunos de los fondos empleados en el proyecto se habrían invertido de otro modo, o el proyecto anula la posibilidad de otro proyecto de inversión mutuamente excluyente. Si no se da alguna de estas condiciones, en otras palabras, si los beneficios y los costos consisten exclusivamente en el consumo (respectivamente proveído e impedido por el proyecto en forma directa), no se presentan estas complicaciones y el problema se reduce a la elección de una tasa de descuento de la preferencia social del tiempo adecuada.

### 3.2.4 La vida de los proyectos.

Es claro que la estimación de la duración de los proyectos es un proceso dependiente de las evaluaciones de la duración física de la vida, los cambios tecnológicos, los desplazamientos de la demanda y el surgimiento de productos competidores. El efecto de cualquier error dependerá de la tasa de descuento adoptada; cuanto mayor sea dicha tasa menor serán los errores de estimación. Algunas investigaciones parecen demostrar que

diversos supuestos acerca de la duración de los proyectos no afectan mucho su viabilidad (Foster y Beesley, 1963).

### 3.2.5 Valoración Privada y Social de los costos y beneficios

Los precios aplicables. Cuando manejamos costos y beneficios que pueden expresarse en términos de dinero, se conviene generalmente en que deben hacerse ajustes a los precios esperados de los insumos y los productos futuros para tomar en cuenta los cambios esperados en los precios relativos de los bienes involucrados (incluidos los cambios en las tasas de interés a través del tiempo), pero no los cambios esperados en el nivel general de precios. El principio general es que todos los precios deben contarse sobre la misma base, y por conveniencia ésta será de ordinario el nivel de precios prevaleciente en el año inicial. También deben considerarse los cambios futuros en el nivel de la producción.

El equilibrio competitivo conseguido mediante el mecanismo de precios permite alcanzar una asignación eficiente. En este equilibrio, los consumidores maximizan su utilidad pagando un precio igual a la valoración marginal del bien, mientras que las empresas maximizan sus beneficios cargando un precio igual al costo marginal del producir el bien. Por consiguiente, la regla  $p=cmg$  muestra una situación que no desea ser alternada ni por los consumidores, ni por las empresas.

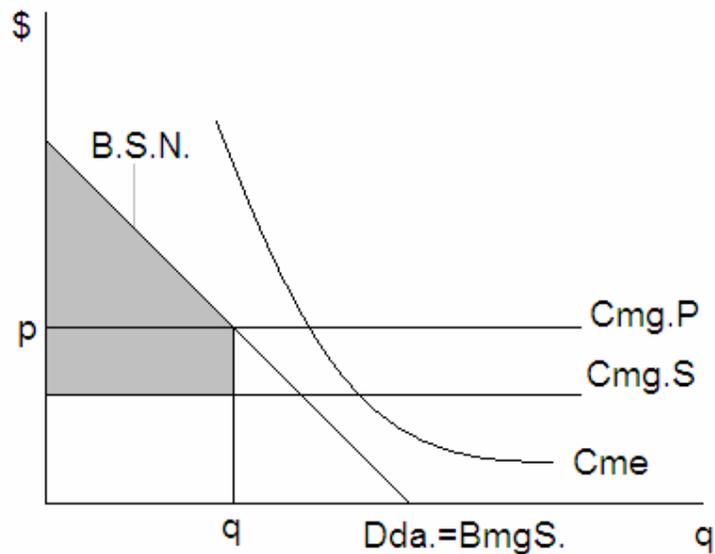
En este contexto, cabe preguntarse si las respuestas del mercado son siempre idóneas, es decir si consigue asegurar un resultado eficiente. La respuesta es que ello exigen que se satisfagan ciertas condiciones, entre las que cabe destacar: la ausencia de incertidumbre, mercados para todos los bienes, derechos de propiedad claramente definidos, inexistencia de efectos externos o externalidades. Cuando se violan estos supuestos decimos que existen fallas del mercado.

En una situación de falla del mercado, los precios no reflejan la valoración marginal de los consumidores o el costo marginal de una unidad de producto.

Hasta ahora, se ha aceptado el supuesto de independencia entre las actuaciones de las empresas y de los consumidores. En la vida real algunas actividades relacionadas con la producción o con el consumo imponen costos o beneficios a los consumidores y a las empresas no involucradas directamente. En estos casos existe una externalidad, cuando la

producción o el consumo de un bien afecta directamente a consumidores o empresas que no participan en su compra ni en su venta, y cuando esos efectos no se reflejan totalmente en los precios de mercado. Al introducir el concepto de externalidad resulta conveniente distinguir entre valoraciones sociales y valoraciones privadas. En las valoraciones sociales se incluye las valoraciones privadas y además los beneficios o costos, según sea el caso, que no han sido tenidos en cuenta por el mercado. Así pues distinguiremos entre beneficios y costos privados y sociales, pudiendo ocurrir, que, en algunas situaciones, el precio alcanzado por un bien en el mercado refleje únicamente la valoración o beneficio privado sin incluir otro tipo de beneficios o costos que pueden estar asociados con su consumo. Podemos argumentar acerca del costo privado de un bien, que puede no incluir la totalidad de los costos o beneficios asociados con su producción. En términos de costo y beneficios sociales, la eficiencia económica requiere que el beneficio marginal social para cada uno de los bienes y servicios productos en la economía sea igual al costo marginal social

Los beneficios sociales medibles para un proyecto de planta de etanol corresponden al área bajo la curva de demanda por los servicios que éste presta. Si éste está asilado cualquiera sea el precio o la tarifa que se cobre por su uso, los ingresos privados obtenidos por su operador serán inferiores a los beneficios sociales que éste aporte en el excedente del consumidor. Si se cumple que, cualquiera sea el precio, el operador no cubre sus costos totales, éste no construirá una planta de etanol que quizás sea socialmente conveniente construir. Por tal situación es que los beneficios asociados a una planta de etanol, son las siguientes: Figura 3.1. Beneficios de una Planta de Etanol



Donde:  
p: precio.  
q: cantidad.  
Cmg.S.: costo marginal social.  
Cmg.P.: costo marginal privado.  
Cme.: costo medio.  
Dda.: demanda.  
Bmg.S.: Beneficio marginal social.  
B.S.N.: Beneficio neto social.

La gráfica muestra que el costo marginal privado es distinto del social, si el Etanol le trae un beneficio a la sociedad al disminuir las emisiones contaminantes. Esta diferencia hace que el beneficio social neto sea siempre diferente que el beneficio privado. Debido a las políticas económicas adoptadas por el país, puede suponerse que puede ser significativa la diferencia entre los costos privados y sociales de construir y operar una planta de etanol, pero puede sostenerse que en casos como el presentado, los beneficios sociales obtenidos por su operación pueden ser menores que los beneficios privados.

Dentro de las misiones del Estado está el ser garante de los derechos individuales y del bien común la que se pone en práctica a través de los diferentes roles que adopta: dirigir, vigilar, fiscalizar, controlar, sancionar y proveer bienes y servicios tendientes a satisfacer la demanda de la sociedad cuando las circunstancias lo justifiquen, o cuando no sean provistos por otros agentes de la sociedad. Esto último significa que el Estado ejecuta aquellas inversiones que son buenas para el país, pero no para el privado porque no le son rentables, es decir, cuando el mercado no es capaz de producir la cantidad o calidad de servicios que, bajo ciertos criterios de óptimo social, se estima adecuado, entonces el Estado identifica la necesidad de proveerlos.

Desde un punto de vista estrictamente económico, el rol del Estado pretende establecer una situación lo más cercana posible a un equilibrio competitivo en los mercados. Idealmente se busca maximizar el beneficio social neto, este es el objetivo central de las políticas públicas de la energía en México.

### 3.2.6 Elección de la tasa de interés

*La tasa social de preferencia del tiempo.* Es muy abundante la bibliografía sobre la elección de las tasas de interés adecuadas para los proyectos de inversión pública, y no podemos tratar de reseñarla en detalle. Si se acepta la teoría neoclásica y se supone un mercado de capital funcionamiento perfecto. Algunos autores creen que la preferencia social del tiempo asigna más peso al futuro que la preferencia privada del tiempo, y aquella es la aplicable en la determinación de la asignación de los recursos actuales de la sociedad entre la inversión y el consumo. A través de los años han esgrimido varios argumentos a favor de tal proposición. Uno de estos argumentos es el de Pigou (1932), por ejemplo, sugirió que los individuos son miopes acerca del futuro (factibilidad telescópica defectuosa) y que podría requerirse la intervención gubernamental para ponderar adecuadamente el bienestar generaciones futuras.

Sin embargo, también se han vertido argumentos en contra, como los que mencionan la utilización de diversas tasas de interés en el sector público y en el privado. Es probable entonces que haya considerable ineficiencia en la asignación de fondos dentro del sector de inversión. Esta dificultad nos lleva a pensar que una tasa de interés no puede desempeñar dos funciones en una situación no óptima. Por ejemplo Hirshleifer y otros (1960) han sugerido que el gobierno actúe para bajar las tasas del mercado hasta el nivel de la tasa social, para que todas las decisiones de inversión en el sector público o el privado se tomen sobre la misma base.

*La tasa del costo social de oportunidad.* La tasa de los bonos gubernamentales es una medida popular y fácilmente aplicable de los costos, tanto porque es un costo financiero en el caso de la inversión financiada por el gobierno como porque, en términos más académicos, puede considerarse como la tasa de interés libre de riesgos<sup>4</sup>. Sin embargo, a pesar de la reaparición reciente, empíricamente fundada, de la creencia en la elasticidad de la tasa de interés la inversión privada, nadie ha demostrado que la eficiencia marginal de dicha inversión sea igual en realidad a la tasa de interés. En consecuencia se requiere un intento directo de medición de las tasas marginales de rendimiento de la inversión privada. Sin embargo, aun si se lograra tal medición, sólo tendría importancia en la medida en que los costos evaluados se refirieran exclusivamente a la inversión privada desplazada.

---

<sup>4</sup> Sin considerar la incertidumbre acerca del nivel de precios.

### **3.2.6.1 El ajuste por incertidumbre.**

Dorfmann (en Mass y otros, 1962), Mc Kean (1958), Eckstein (1961), Hirshleifer y otros (1960), han examinado en sus admirables reseñas las diversas formas en que la incertidumbre afecta el análisis costo-beneficio; aquí sólo añadiremos dos observaciones. La primera es que no hay razón para sostener que los proyectos de inversión pública estén libres de incertidumbre. La segunda es que pueden hacerse algunos ajustes por la incertidumbre: 1) en las evaluaciones de los niveles anuales de beneficios y costos; 2) en los supuestos relativos a la duración de los proyectos, y 3) en la tasa de descuento. El primero es muy adecuado cuando el riesgo de dispersión de los productos (o insumos) se distribuye en forma irregular a través del tiempo. Si el riesgo principal consiste en que puede haber una fecha inesperada en que desaparezcan los beneficios o se disparen los costos, se requiere el segundo tipo de ajuste. La tercera corrección, una prima sobre la tasa de descuento, se justifica cuando la incertidumbre es una función estrictamente acumulativa en el tiempo.

**3.2.6.2 Los principios y la práctica.** Las discusiones referentes a las tasas sociales de preferencia del tiempo, costo social de oportunidad, etcétera, no ocupan gran espacio en la mayor parte del trabajo empírico, y no hemos podido descubrir algún caso en que se hubiese una aplicación convincente por completa de tales nociones. Tampoco parecen recibir mucha atención las ideas relativas a la consideración de los cambios futuros de las tasas de interés. En la práctica, el procedimiento más usual consiste en seleccionar una tasa de interés, o varias, de acuerdo con las tasas vigentes, para calcular los valores presentes, etcétera. Por ejemplo, Weisbrod (1960) toma una tasa del 10% como representativa del costo de oportunidad del capital en el sector privado (porque el rendimiento del 5% observado en los valores corporativos debe duplicarse aproximadamente para considerar el impuesto a las ganancias de las empresas), y una tasa del 4% como representativa del costo de los préstamos del Gobierno Federal. Luego hace sus cálculos del valor presente sobre ambas bases. Es obvio que puede afirmarse que este procedimiento puede producir resultados ambiguos, por ejemplo que el proyecto A es preferible al proyecto B sobre una base pero el proyecto B es preferible sobre la otra base. Esto es indiscutible; pero también hay ejemplos en el sentido de que la elección de tasas de descuento que varíen entre el 4% y el 8% no afecta mucho las evaluaciones de un proyecto (Foster y Beesley, 1963), aunque

no puede decirse lo mismo cuando la variación es mayor. Lo cierto es que estamos tratando de deshacer un nudo, y nadie ha inventado algún método mejor que otros.

En sus distintas publicaciones **Arnold C. Harberger** se ha destacado por recomendar el uso del Análisis Costo-Beneficio como una herramienta de la economía. Harberger utiliza la tasa de descuento investigando los efectos de la deuda pública adicional sobre las diversas clases de inversión y ahorro. La cifra resultante para la tasa social de descuento es un promedio ponderado de las tasas marginales de productividad del capital de los diversos sectores de donde se desplaza la inversión, y de las tasas marginales de preferencia del tiempo aplicables a los diversos grupos (si hay algunos) cuyo ahorro se estimula (mediante tasas de interés más altas) por la deuda pública adicional.

Enfocamos el problema de modo indirecto, considerando en primer término el costo social de oportunidad de un insumo de un proyecto del sector público, cuyo uso privado de esté sujeto a un impuesto; luego el costo social de oportunidad de las divisas tanto bajo tratamiento arancelario uniforme como diverso de varias clases de importaciones, y finalmente el costo social de oportunidad de varios fondos. Este enfoque indirecto revelará que en los tres casos es aplicable en esencia la misma metodología, lo que refuerza su credibilidad cuando se aplica al problema de la tasa de descuento.

Para un correcto análisis económico costo beneficio se debe considerar un período de análisis, en el cual se estimen todos los costos y beneficios relevantes según se vayan presentando en el tiempo, para construir un flujo. Para hacer comparables estos costos y beneficios en diferentes tiempos, debe aplicarse la estimación de valor presente.

El valor presente, es el cálculo de beneficio neto, que toma en cuenta la temporalidad de los costos y beneficios. La aplicación de valor presente en el análisis costo benéfico puede realizarse de la siguiente manera:

Se estiman los costos monetarios y los beneficios monetarios de cada período separadamente, se multiplica el monto de costos de cada período con su correspondiente factor de descuento y se obtiene así el valor presente de los costos en cada período. Sumando los períodos se obtiene el valor presente neto de los costos (VPC). Lo mismo se hace con el flujo de beneficios de todos los períodos analizados obteniendo así el

$$(CxFd)_{año1} + (CxFd)_{año2} + \dots + (CxFd)_{añon} = VPC$$

valor presente de los beneficios (VPB). El valor presente neto (VPN), se obtiene restando el valor presente de beneficios menos el valor presente de costos.

El criterio de decisión del valor presente neto será:

$$VPB - VPC = VPN$$

1. Solo se consideran viables los proyectos con valor presente neto positivo. Esto es, que los beneficios en valor presente superen a los costos en valor presente.  $VPN > 0$ .
2. Sé eligirá, entre las alternativas viables, aquella con un valor presente mayor.
3. Solo debe aceptarse un proyecto con VPN menor a cero, cuando se considera que los beneficios no cuantificables monetariamente son lo suficientemente importantes y significativos para la sociedad en su conjunto, como para incurrir en costos sociales y en una asignación ineficiente de los recursos de la sociedad.

Al considerar distintos escenarios, es conveniente estimar la probabilidad de que cada tipo de escenario se presente. Esto esta definido por la distribución de probabilidad de la variable. De la suma de los valores presente en cada escenario, ponderados por su probabilidad correspondiente se obtendrá el valor esperado del proyecto. Comúnmente se presentan tres tipos de escenarios en los estudios: pesimista, optimista e intermedio con sus correspondientes valores presentes netos  $VPN_p$ ,  $VP_o$  y  $VPN_i$ , y con sus respectivas probabilidades  $P_p$ ,  $P_o$  y  $P_i$ .

Entonces esperado del proyecto será:

$$VPN_p x P_p + VPN_o x P_o + VPN_i x P_i = VPN \quad \text{esperado del proyecto}$$

### **3.3 Estudios preliminares sobre el Etanol**

#### **3.3.1 Impactos Económicos y Ecológicos del Cambio de Combustibles en México.**

Este estudio pertenece a una serie de documentos de divulgación en torno a los problemas más graves que está enfrentando la Ciudad de México y la Zona Metropolitana. El objetivo de la publicación es hacer un buen diagnóstico de la situación que vive la ciudad más grande del mundo. Se presenta la propuesta de usar alcohol de caña como aditivo en los combustibles automotrices para ahorrar recursos no renovables y, ante todo, abatir la contaminación atmosférica que está sufriendo la Zona metropolitana de la Ciudad de México. La publicación es el resultado del coloquio “El uso del alcohol de caña como aditivo para las gasolinas Mexicanas”, las conclusiones del coloquio dejan constancia de la postura que el etanol solamente puede considerarse como un paso intermedio en la solución del problema de la contaminación en la ZMCM, además también se incluye la idea de la racionalización del uso del automóvil.

#### **3.3.1.1 Consideración para usar el alcohol de caña como aditivo oxigenado en combustibles.**

El interés de mejorar los combustibles es por lo siguiente:

- Se trata de mejorar la calidad, es decir, que sea más eficiente.
- Eliminar el Plomo como antidetonante.
- Mejoramiento del proceso de Refinación.

Los aditivos que se han considerado como los de mejor aceptación son los llamados oxigenados y se enuncian como los principales a: etanol, metanol, etil terbutil ether (ETBE) y metil terbutil ether (MTBE).

#### **3.3.1.2 Los aditivos oxigenados y combustibles alternativos.**

Lo que se busca es incluir aditivos para elevar el octanaje e incrementar el poder antidetonante. Aún en las fechas presentes el tetraetilo de plomo (TEP) continúa siendo uno de los principales métodos más baratos de incrementar el índice de octano. El TEP resulta más barato si no se contabiliza el costo para la sociedad, por daño a la salud y baja productividad. Otros aditivos son compuestos aromáticos (Benceno, Tolueno, Xilenos).

Existe la posibilidad de mejorar considerablemente el índice de octano sin tener que recurrir al tetraetilo de plomo o los aromáticos mediante la adición de alcoholes ya sea

metílico o metanol y etílico o etanol y de los éteres metil terbutílico (MTBE) y etil terbutílico. Las ventajas que tendrían los éteres MTBE y ETBE sería un elevado poder antidetonante y relativamente baja la volatilidad con ventajas similares a los alcoholes metílicos y etílicos pero de mayor costo.

La introducción de mezclas de gasolina con etanol hasta un 10% merece sin embargo una valoración especial, ya que sus implicaciones no pueden constreñirse sólo a reducciones mayores o poco significativas en la emisión de alguno o varios contaminantes primarios. En efecto el uso del etanol como mezcla hace prever adicionalmente algunos efectos positivos indirectos sobre el medio ambiente.

- a) El etanol tiene un octanaje superior al de la gasolina, siendo un eficaz aditivo antidetonante que aumenta la calidad del combustibles al usarlo como una mezcla, lo que permitiría eliminar totalmente el plomo, siendo su toxicidad incomparablemente menor.
- b) El etanol puede ser aditivo con menos contradicciones ambientales que los aromáticos y olefinicos usados en México para aumentar el octanaje de la gasolina y eliminar parcial o totalmente el plomo. Ello en la medida en que las emisiones son catalogadas por algunos expertos como de menor reactividad fotoquímica. Además de la reducción cuantitativa de las emisiones de hidrocarburos, esta propiedad del alcohol fortalece la posibilidad de que ayude a mitigar las elevadas concentraciones de ozono que caracterizan la atmósfera de la ZMCM
- c) Es probable que el simple uso de etanol como mezcla permita que ciertos vehículos cumplan con las normas de emisiones vigentes o previstas, lo cual haría más expeditos los programas de verificación.
- d) El etanol es un energético renovable que puede ser producido de manera descentralizada; podría dar lugar a una agroindustria integral que revitalizaría el sector azucarero, genera una cantidad importante de empleos en el campo; y, recuperar amplias zonas de ganadería extensiva que hoy presenta un avanzado deterioro ecológico y productivo.
- e) El etanol visto desde otro punto de vista, es una excelente materia primaria de gran versatilidad que puede ser fuente de un gran número de productos petroquímicos y sucroquímicos de alto valor. Entre los derivados del etanol de mayor interés para

nuestro caso, se encuentra el etil terbutil éter (ETBE), que tiene mejor poder antidetonante y excelente desde el punto de vista ecológico.

### **3.3.1.3 El etanol como aditivo para el diesel**

Se ha observado, que el etanol favorece la combustión del diesel, mejora su eficiencia y reduce sus emisiones contaminantes (entre otras de humo), pero su efecto antidetonante, que no es deseable en los motores de diesel, limita la concentración del alcohol que conviene para estos motores.

Distintos estudios sobre la sustitución de cierto porcentaje de diesel por etanol cuyos objetivos han sido establecer los tiempos óptimos de inyección de la mezcla y establecer el mayor nivel de ahorro de combustible si necesidad de modificación en la ingeniería del motor a diesel. En los resultados demuestra que la mejor mezcla es 15% etanol 85% diesel, en este caso, no se requiere modificación de ingeniería, pero si mejora la ignición.

### **3.3.1.4 El etanol de caña como aditivo antidetonante en México.**

En cuanto al potencial de la producción, es necesario considerar, que en la situación presente existe un 50% de capacidad de destilación no utilizada en las plantas productoras de alcohol de caña dentro de la industria azucarera nacional y que, mediante una inversión del orden de los 206 millones de dólares, se podría en un periodo de 5 años, realizar las modificaciones a ingenios azucareros y las instalaciones necesarias para incrementar la superficie de siembra y aportar un excedente de alcohol de caña.

La primera etapa de este proyecto virtualmente no requiere inversión alguna, y solo requiere la decisión de reducir la capacidad ociosa de las destilerías alcoholeras asociadas a los ingenios azucareros para incluir las primeras aportaciones de etanol a la oferta de componente antidetonante.

Los costos sociales de la producción e incorporación de alcohol de caña a los combustibles automotrices se asocian primero a la utilización de mieles incristalizables en las instalaciones subutilizadas de la planta actual, al costo de incrementar la capacidad de

producción de caña, su procesamiento y el aumento de las destilerías alcohólicas para alcanzar la meta de 5 años mencionada anteriormente.

### **3.3.1.5 Costos medios y marginales de mejorar el poder antidetonante de los combustibles automotrices.**

El costo de mejorar la calidad de las gasolinas vía el aumento del índice de octano, que para este estudio se utiliza el índice RON (Research Octane Number) depende en primer lugar de las características y costo de producción de la gasolina base,<sup>5</sup> de los costos de procesamiento adicional, de los niveles de costos de las gasolinas como función del precio del petróleo crudo y de los costos del aditivo o componente antidetonante empleado.

Para el caso de los componentes de alto índice de octano que se mezclan en las gasolinas en proporción diversa –entre los cuales se considera el etanol–, al añadirse alteran la concentración y volumen de la mezcla resultante y por lo mismo, el costo de su adición resulta afectado considerablemente por el costo de producción de la gasolina base. Se ha observado que el costo de aumentar el número de octano de las gasolinas mediante la mezcla de componentes de alto octano, en una función de la diferencia de precio entre la gasolina base y el componente antidetonante adicionado, del índice de octano de la gasolina base, de la concentración del componente incorporado y del poder antidetonante en mezcla que tiene el componente adicionado.

En el análisis que se realiza se estudia el costo marginal de la adición de antidetonantes (Tetraetilo de plomo, Tolueno, Xilenos, MTBE, N butano Metanol), de los compuestos se estudia las distintas cantidades adicionadas a la gasolina y su precio, se adiciona distintos precios del crudo (15, 18, 22, 25, 28) se determina el costo marginal. En el resultado obtenido, el costo del etanol como componente aditivo antidetonante se muestra que el costo oscila entre 6.31 y 67 centavos de dólar por octano y por barril.

El etanol anhidro es soluble en gasolina y diesel, siempre y cuando no exista agua en el sistema. Si ésta se presenta, el alcohol preferentemente absorbe el agua y se separa la mezcla en dos fases, lo cual causa desperfectos serios en el motor.

---

<sup>5</sup> Gasolina Base: se denomina gasolina base a la mezcla de productos de los diferentes procesos de refinación, sin aditivos ni componentes antidetonantes.

El libro llega a la conclusión que el uso de antidetonantes en las gasolinas es necesario para lograr una alta eficiencia en los motores, y por ende, la disminución de las emisiones contaminantes. El etanol resulta aparentemente una opción económicamente viable, ecológicamente deseable y socialmente ventajosa que merece una consideración especial como coadyuvante a la solución del problema de la contaminación ambiental, con la ventaja adicional de tratarse de un recurso renovable.

A continuación presentamos algunas ventajas que estimamos tendría la promoción del uso del etanol como antidetonante.

- **Ventajas Ecológicas:** Se lograría reducir la contaminación, mediante la mezcla del 10% etanol, 90% gasolina, se lograría reducir en un 10% los hidrocarburos, en 60% el monóxido de carbono y totalmente el plomo. En el caso del diesel se mejora la combustión del carburante reduciendo así la emisión de partículas.
- **Agropecuario:** Dadas las características y posibilidades del proceso, a partir de la producción de alcohol puede abrirse un interesante potencial para construir un sistema de agroindustrias integrales de producción pecuaria, azucarera, alcoholera y de electricidad, siempre y cuando no desplazar el cultivo de alimentos básicos y de establecer los controles y dispositivos tecnológicos para evitar la contaminación en dichas industrias.
- **Ventajas sociales y económicas:** Revitalizaría la industria azucarera, elevaría el empleo en las zonas rurales. Sin embargo, este esfuerzo requiere de una adecuada modernización de la rama agroenergética y zucroquímica congruente a la demanda del energético y que deberá ser más eficiente conforme se restringan los índices permitidos de emisión de contaminantes.

### 3.3.2 Modelo para el análisis del Mercado de Etanol en España para el grupo Rode-Bentley.

El estudio se centra en el Grupo Rode-Bentley, el cual quiere incursionar en el mercado Europeo, caso específico España como puerto de entrada y primer punto de venta del Etanol, es por ello que se estudia el mercado de etanol en España así como los factores que influyen en el.

Los objetivos de la investigación son:

- Identificar los principales factores que influyen en el comportamiento del mercado de etanol.
- Establecer la sensibilidad del mercado respecto a los factores encontrados en el punto anterior.
- Generar un modelo de análisis y determinar la capacidad de España para autosatisfacer su demanda de etanol en el corto plazo.

El documento analiza todo lo referido a etanol, propiedades, usos y combinaciones con gasolina y se estudia España como posible mercado del biocombustible. Es interesante la manera en que el autor elabora el modelo, utilizando la teoría neoclásica y haciendo coincidir la oferta y la demanda.

### 3.3.3 Evaluación del proyecto para la producción de etanol en México.

El objetivo de este estudio es evaluar el proyecto para la producción de etanol a partir de la caña de azúcar en México, con base en los resultados que se mencionan con antelación, y partiendo del estudio denominado, “Factibilidad para la producción de etanol y etil-terbutil-éter para sus uso como componente de gasolina para automóviles” realizado por la empresa CONIP Consultores y Contratistas. En el documento se analiza el problema de la contaminación en la zona metropolitana del valle de México generada por el transporte. Se presenta el etanol como una solución al problema de la contaminación y los resultados obtenidos por el Instituto Mexicano del Petróleo sobre el impacto que se tendría si a las gasolinas se les añadiera el 6%.

### 3.3.4 Etanol de Caña en México, posibilidades de uso como combustible.

Es dicho estudio se analizó la viabilidad de la producción de etanol de caña de azúcar en México y la posibilidad que tiene para ser incorporado al mercado de combustibles automotores; esto, en un intento por analizar la reorientación del desarrollo de la industria de etanol en nuestro país. En esa línea, la investigación aporta elementos que contribuyen a la posible solución del problema que existe desde hace unos años en la comercialización

del azúcar. La idea de utilizar etanol como combustible en México surge por dos razones: por un lado, proponer a los agroindustriales de la caña una opción para diversificar el uso del azúcar; y por otro, la producción de energía a partir de fuente renovable, fomentando de esta manera el uso racional y sustentable de los recursos petrolíferos del país, esto en concordancia con la tendencia mundial del aprovechamiento de la biomasa. Afortunadamente, México dispone de un cultivo de privilegiada capacidad productiva: la caña de azúcar, la cual presenta un interesante potencial para la obtención de este tipo de energía. Con base en el análisis realizado, se concluye que la producción de etanol representa una alternativa para la agroindustria azucarera, la cual permitiría hacer frente a los bajos precios del azúcar y a la creciente amenaza de penetración de edulcorantes sustitutos. La producción y uso de alcohol carburante en México, además de promover el desarrollo económico y social del sector azucarero, permitiría traer otros beneficios como el mejoramiento de la calidad del aire.

El estudio analiza la producción de etanol de caña de azúcar en México y las posibilidades de uso como combustible.

#### 3.3.4 Producción de etanol anhidro en ingenios azucarero.

La importancia que hoy en día tienen los temas de corte energético, no sólo en nuestro país, sino en el mundo en general, nos obliga a la búsqueda permanente de aquellas alternativas que, habiendo probado su viabilidad técnica, se presenten como opciones económicas a los hidrocarburos, cuya expectativa de utilización es finita y cada vez más próximo su agotamiento. La Agro Industria de la Caña de Azúcar en nuestro país, está bien consciente del rol que la gramínea jugará en el futuro, dada su mayor fortaleza, a saber “*pronta renovabilidad*”; y secuestradora potencial de CO<sub>2</sub>. Es aquí donde surge el *alcohol etílico*, en sus variantes: anhidro e hidratado, como una contribución al balance energético y a la detención del mal de los últimos tiempos; “*el cambio climático*”.

Se presentan en esta colaboración diversos aspectos relacionados con las experiencias locales de investigación y expectativas a futuro, basadas en prácticas internacionales con el *etanol anhidro*. 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).

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.

### 3.3.5 Energías Renovables para el desarrollo Sustentable de México 2006.

La Secretaría de Energía muestra su interés por el tema de energías renovables y realiza estudios de los cuales se obtiene la siguiente publicación, de dicho documento se obtiene el apartado de Bioenergía y se analizan las conclusiones, es importante mencionar que el estudio se llevó a cabo por investigadores del Centro Mario Molina.

En el documento se describe la Bioenergía de la siguiente manera:

Tecnología: Utiliza materia orgánica como energético, por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel.

Estado actual: Actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarero) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos). En 2004 se consumieron 92 Petajoules de bagazo de caña y 250 de leña. México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química.

Al 2005 la Comisión Reguladora de Energía autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

Potencial: El potencial técnico de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 Petajoules al año, sin embargo, su uso actual es 10 veces menor. Del potencial estimado, un 40% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agro-combustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal.

Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades (Ciudad de México, Guadalajara, Puebla Nezahualcoytl, Tijuana, Ecatepec, Mérida, Acapulco, Ciudad Juárez y Tlanepantla) para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año. Además, se cuenta con un área agrícola significativa, potencialmente apta para la producción de bioetanol y biodiesel.

Costos: Para la obtención de etanol a partir de almidones se estima a nivel internacional un costo de inversión de 0.8 USD/l; a partir de recursos ricos en azúcares (melaza), el costo de inversión es de 0.40 USD/l. La elaboración de biodiesel a partir de aceite de soya tiene un costo de 0.57 USD/l, y a partir de aceite de girasol el costo es de 0.52 USD/l.

México está en proceso de mejorar significativamente su marco regulatorio y legal a efecto de impulsar el desarrollo de tecnologías basadas en energías renovables (ER), y asegurar que éstas obtengan la retribución económica correspondiente. Un avance importante ha sido el dictámen favorable de la Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables (LAFRE), de la que se derivan metodologías que permitirán estimar las ventajas económicas no valoradas de las ER, como la contribución a la diversificación de fuentes primarias de energía (con lo que se disminuye el riesgos de abasto energético y se estabilizan los precios de la energía en el mediano y largo plazo). Se establecen criterios para calcular la aportación de capacidad, haciendo más competitivas a las ER frente a las fuentes convencionales de energía.

Se está avanzando en la definición de esquemas de financiamiento que permitan concretar la realización de proyectos de generación basados en ER. En este sentido, el Fideicomiso que se deriva de la LAFRE, cuando ésta sea aprobada por la Cámara de Senadores, ofrece una alternativa real. Los recursos necesarios para el Fideicomiso tendrán

que provenir de tres tipos de fuentes: la presupuestal, que deberá ser gestionada por la propia SENER; los instrumentos de apoyo derivados de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDLs) y otros apoyos internacionales, y los derechos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> o consumo de energéticos, para lo cual la SENER buscará la aprobación de una Iniciativa de Ley para modificar la Ley Federal de Derechos, gravando las emisiones de CO<sub>2</sub>, con lo que se podrán contar con recursos importantes para la promoción y el desarrollo de las ER en el país.

La meta propuesta en la LAFRE del 8% de participación de las ER en la generación de electricidad, es viable (las metas internacionales están sobre el 10%, con 12% para la Unión Europea, y casos particulares como el de Brasil y Canadá, tienen ya una participación mayor al 25%) dado que los recursos energéticos renovables son bastísimos.

No obstante se deberán impulsar más acciones para su promoción, y se deberán consolidar las metodologías para valorar las ventajas económicas, ambientales y sociales de las ER que las hagan competitivas frente a las fuentes convencionales, con miras a disminuir paulatinamente la dependencia de su fomento al uso de incentivos económicos.

El conjunto de incentivos y modificaciones al marco legal y regulatorio promovidos tienen por objeto propiciar el desarrollo de nuevos proyectos y asegurar su rentabilidad con objeto de incrementar el aprovechamiento de las ER.

Dichas acciones forman parte de una Estrategia Nacional que permitirá avanzar en el cumplimiento del compromiso que ha adquirido el Gobierno de México, de asegurar a las generaciones futuras un país con crecimiento económico, que tome en cuenta las variables sociales y ambientales de largo plazo y permita transitar hacia un desarrollo sustentable.

### 3.3.6 Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México.

Otro documento solicitado por la SENER y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo en Cooperación con Alemania, es elaborado por consultores externos. El documento consta de 600 páginas es bilingüe y en él se desarrolla detalladamente el tema

sobre Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, del escrito se toma lo más importante que se describe a continuación:

### 3.3.6.1 Bioetanol

Existe una oportunidad importante para que México emprenda la producción de etanol a gran escala, si bien deben superarse varios retos que se analizan con detalle en el informe.

Para la conversión a etanol fueron considerados como insumos: caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo y remolacha azucarera, con las tecnologías maduras existentes y, en el caso de la caña de azúcar, se analizó la producción de etanol a partir del bagazo, cuya tecnología se encuentra en desarrollo. Con base en criterios de selección como: disponibilidad de una tecnología madura, costos, necesidades de inversión, superficie requerida, índice de energía neta y emisiones y mitigación de gases de efecto invernadero se seleccionó a la caña de azúcar como el cultivo más promisorio de inmediato, que puede ser complementada por otros cultivos a mediano y largo plazo.

El análisis económico mostró que con los insumos valorados a precio de costo actuales y tres precios de venta de etanol, representativos del mercado reciente de etanol combustible, todos en US\$/m<sup>3</sup>: 450, 550 y 650. Considerando el precio de etanol en US\$ 0.45 el resultado económico neto sería negativo para todos los casos/considerando precios de etanol de US\$ 0.55 a US\$ 0.65 el resultado sería positivo para caña de azúcar y maíz. El costo de la materia prima es el elemento más importante de los costos de producción. De acuerdo con los datos del Annual Energy Outlook 2006 de la agencia de la información de la energía, el precio de mercado de etanol es de US\$ 1.17 por litro para el 2006. Actualmente la fabricación de etanol en México para combustibles es marginal. Sería posible, dentro de ciertos límites, tener un programa de etanol combustible exitoso en México. Para eso, sería necesaria una disminución del costo de materia prima con el aumento de la escala productiva y precios de etanol en la franja superior del rango mencionado. El precio del etanol combustible tiende a vincularse al precio de gasolina, cuya tendencia futura es creciente, augurando así una expectativa positiva de viabilidad.

Basado en la experiencia internacional, un programa de etanol como combustible puede ser ideado como parte de una transición hacia sistemas de transporte sustentables.

No se espera que el combustible etanol desplace completamente a la gasolina del mercado en ningún momento. Por el contrario, el etanol puede alargar los recursos petrolíferos logrando una moderada cuota de mercado y ahorrando gasolina para el futuro. En este estudio se recomienda un programa de introducción gradual del etanol con tres fases o escenarios. En la primera fase (2007-2012) se tendría como meta producir 411.9 miles de m<sup>3</sup> de etanol el cual se obtendría principalmente de mieles de caña de azúcar y se dirigiría a reemplazar al metanol en los éteres producidos en el mercado nacional (MTBE y TAME) para fabricar ETBE. El etanol como componente del ETBE fabricado en México correspondería a una penetración del 5.7% en volumen de un porcentaje de las gasolinas suministradas a las Zonas Metropolitanas.

Para 2012, y sobre la base de etanol de jugo de caña de azúcar de cultivo de temporal en pastizales y tierras marginales, así como en proyectos de etanol que podrían desarrollarse a partir de otros insumos, podría tener lugar la sustitución del 5.7% de todas las gasolinas de las áreas metropolitanas, correspondiendo a una demanda de 1,110.6 miles de m<sup>3</sup>. De 2012 en adelante, y sobre la base de caña de azúcar y otros posibles insumos, como el cultivo múltiple anual sorgo dulce o maíz, el 10% de todas las gasolinas en México podría ser reemplazado por etanol, correspondiendo a una producción de 4,406.3 miles de m<sup>3</sup>. En todos estos desarrollos podría haber oportunidades para la exportación e importación de etanol, directamente o como ETBE.

Suponiendo que el jugo de caña de azúcar sea el insumo dominante, alcanzando una mezcla de etanol en todo México del 10%, el número actual de empleos en la industria se doblaría y se crearían unos 400 mil nuevos puestos de trabajo. El área necesaria alcanzaría alrededor de 800 mil hectáreas, más del doble de la superficie de cultivo actual de caña de azúcar en México. Los requerimientos de tierra podrían cumplirse aparentemente sin comprometer la producción de alimentos. Para lograr estas metas se requeriría una inversión de alrededor de US\$ 160 millones en los próximos años y a más largo plazo una inversión en 45 destilerías independientes de jugo de caña supondría US\$ 2.25 miles de millones distribuidos a lo largo de varios años y más allá de 2012.

México se beneficiaría de la introducción del etanol como combustible de muchas formas: creación de empleo, desarrollo de la economía rural, ampliación de las infraestructuras sociales en zonas rurales, mejora de la seguridad energética, conservación

de los recursos petrolíferos, mejor gestión del agua, expansión de la agricultura a tierras más secas cosechando cultivos resistentes, como cultivos anuales múltiples como el sorgo dulce, ahorro en los intercambios exteriores, motivación de la comunidad científica y tecnológica, incentivos a la industria de bienes de producción, mejora del medio ambiente local y global. El equipamiento para la fabricación de etanol y la generación combinada de calor y electricidad, en el caso del bagazo de caña, podrían tener un índice de nacionalización de casi el 100% en México, creando empleos de calidad y fortaleciendo la industria.

La reducción de las importaciones de gasolina y MTBE para el escenario en que todas las gasolinas en México fueran mezclas del 10% de etanol supondría un ahorro en la balanza de pagos de hasta US\$ 2.0 mil millones. La venta de bonos de carbono a través de proyectos MDL podría potencialmente añadirse a este beneficio. Para el escenario de mayor penetración de etanol se espera una mitigación de 10.6 millones t CO<sub>2</sub> eq/año con base en una producción a partir de caña de azúcar.

El éxito en el lanzamiento del programa de etanol dependerá en gran medida de un programa de inspección y mantenimiento de las estaciones de venta o gasolineras diseñado cuidadosamente e implementado de manera experta, en especial los tanques subterráneos de almacenamiento, y de los vehículos, en particular aquéllos fabricados antes de 1986. PEMEX y la industria automotriz mexicana tendrían un papel importante que jugar aquí.

La estructura de la producción de etanol en México en el futuro podría tener diferentes vías. Posiblemente coexistirán dos sistemas. Uno sería similar a la situación actual, esto es: un gran número de propietarios de tierra, superficies pequeñas, algunas organizadas en cooperativas. El otro sistema se basaría en participaciones mucho mayores. Estructuras apropiadas (para ambos sistemas) conllevarán diferencias en la creación de empleos. Si se da prioridad a la expansión a gran escala de la caña en pastizales y tierras marginales, tendrá lugar un desarrollo regional en nuevas zonas, creando empleos y promoviendo infraestructuras sociales donde antes apenas existían.

La revisión creativa del pacto social existente entre productores de caña e ingenios podría ofrecer una oportunidad a mantener por los beneficiarios actuales y para ampliar los beneficios sociales de los trabajadores rurales que no los disfrutaban en el presente. Es una

tarea que requiere ingenio y creatividad, pero a no ser que haya avances en esta área, el costo del etanol en México podría ser demasiado alto para los implicados a fin de lograr un consenso hacia un programa de etanol como combustible en el país. La experiencia brasileña de integración de intereses de productores e ingenios en un acuerdo negociado libremente, dirigido por modelos técnicos y económicos y supervisados por expertos de ambas partes podría ser de interés para México.

Comprender los fundamentos, oportunidades y barreras, así como las motivaciones de los actores sociales clave en el programa de etanol, contribuirán a construir el consenso que posibilitará la introducción del etanol en el mercado en México, dentro del marco legal creado por las leyes y regulaciones a tal efecto. Los gobiernos son los iniciadores naturales de este proceso transición. La implementación en sí se lleva a cabo a través de una combinación de agentes públicos y privados. Deberían considerarse foros nacionales de actores sociales clave para conseguir un consenso sobre un portafolio de prioridades de acción. Esto puede traducirse en legislación, regulación, financiamiento, presupuestos públicos y privados, asistencia técnica, cooperación técnica, llevando todos estos aspectos a una implementación suave y sin problemas de un programa de etanol.

Todo programa de etanol puesto en marcha en el mundo fue lanzado con el apoyo de incentivos financieros y de todo tipo, inclusive mandatos y los contratos de compra resultantes; impuestos diferenciales del etanol para ser mezclado con gasolina para nivelar los costos del etanol y de la gasolina en la mezcla distribuida a través de la red de venta y otros. Esto tendría como resultado a corto plazo pérdidas para el Erario, que podrían ser compensadas a través de fondos que deberían establecerse en la implementación de la legislación mexicana sobre biocombustibles y energías alternativas.

México presenta condiciones adecuadas para promover la producción y uso de etanol combustible, con potenciales ventajas económicas, sociales y ambientales. Desde el punto de vista de la demanda, la adopción del etanol ofrece la posibilidad de sustituir o disminuir el consumo de gasolina y componentes oxigenantes (MTBE y TAME), productos importados en volúmenes crecientes<sup>5</sup>. Además, esos aditivos son compuestos ambientalmente cuestionados y progresivamente prohibidos en diversos estados de Estados Unidos. Por el lado de la oferta, condiciones favorables de clima y disponibilidades de tierra, conjugadas a oportunidad de dinamizar actividades agroindustriales y mejorar la

participación de fuentes renovables en la matriz energética, son algunos de los factores que tienden a impulsar el etanol combustible en la realidad mexicana.

En los estudios desarrollados en los párrafos anteriores para caracterizar las necesidades y disponibilidades prospectivas de etanol, fueron considerados diversas materias primas y tecnologías de conversión, determinándose los costos e inversiones unitarias respectivas, que permitirán estimar los requerimientos de área cultivada, número de unidades de producción e inversiones, frente a tres escenarios de demanda de etanol. De una manera general, la caña de azúcar, como miel pobre y jugo directo, y el maíz (con elevada productividad) en proceso vía seca presentaran costos más bajos. Obsérvese que estos casos corresponden a tecnologías convencionales y conocidas. Los casos evaluados de materias primas innovadoras y procesos en desarrollo presentaran indicadores económicos con baja competitividad.

Para los tres escenarios de demanda de etanol, se estimó una demanda de 412 mil m<sup>3</sup>/año para sustitución de la producción local de MTBE por ETBE, 912 mil m<sup>3</sup>/año para sustitución total de MTBE por etanol en 44% de la gasolina utilizada en México y 3,897 mil m<sup>3</sup>/año para mezcla de 10% de etanol en toda la gasolina del país. Para dar una idea de los resultados cuanto a producción de etanol, para el escenario de demanda más alta y considerando respectivamente la caña de azúcar (jugo directo) y el maíz como materias primas, serian requeridas aproximadamente 800 mil y 980 mil hectáreas, con inversiones de 2,400 y 1,586 millones de dólares en las plantas agroindustriales. A ese nivel de producción, el ahorro de divisas anual seria, a precios actuales, de 1,754 millones de dólares.

Asumiendo precios para el etanol al nivel de paridad con otros productos de la industria azucarera, se constata que el biocombustible producido a partir de caña y maíz mediante procesos convencionales presenta competitividad económica frente a los precios recientes y corrientes de la gasolina y del MTBE. Particularmente para el etanol de caña, esta competitividad es clara para el etanol producido a partir de melazas, depende de la configuración de precios para el etanol sustituyendo azúcar producido a precios de mercado abierto y ciertamente no existe para el etanol remplazando azúcar vendido a precios de los mercados preferentes.

Cabe observar que las conclusiones relativas a costos de etanol a partir de jugo directo y maíz se basan en materias primas evaluadas a su costo agrícola, al nivel de factores de producción. En el caso que se tome la materia prima a precios de mercado mexicano (por ejemplo el precio KARBE para la caña), resulta un costo de producción para el etanol significativamente más elevado, que solamente con soporte fiscal podría alcanzar competitividad, ya que estaría típicamente por arriba de los precios de paridad frente a los combustibles convencionales.

En el estudio de sensibilidad efectuado sobre los precios del etanol se observó que la materia prima influye mayormente, seguida de las inversiones efectuadas en la unidad agroindustrial. Es interesante notar que para el maíz, los costos más elevados de la materia prima comparativamente a la caña, la más demorada utilización de la unidad agroindustrial al largo del año llevó a resultados finales semejantes, para el costo del etanol.

Los estudios realizados dejan algunas respuestas y nuevas cuestiones. Un primer tema a ser explorado y definido se refiere a las materias primas a utilizar para producción de etanol. Entre las diversas posibilidades se destacan las melazas, el jugo directo de caña y el maíz, por su productividad, costos y conocimiento agronómico en México. Por los resultados económicos no es posible afirmarse categóricamente que la caña representa una opción superior al maíz, no obstante la menor disponibilidad de tierras bajo riego, la importancia en usos alimentarios y la dependencia de maíz importado sean aspectos estratégicos a reducir el interés en ese cultivo para fines bioenergéticos. Además, para el maíz se adoptaran indicadores bastante optimistas, comparativamente a los adoptados para la caña. Otros cultivos también pueden ser considerados, pero siempre en nichos específicos pues todavía carecen de mejor fundamentación y los resultados obtenidos no son exactamente estimulantes. En síntesis, sobre esto punto, es importante enfocar las materias primas de manera no restrictiva pero teniendo en cuenta experiencias previas y datos económicos.

La cuestión anterior incide necesariamente en los precios de las materias primas, un tema crucial para el sustentado desarrollo del etanol en México. Por gran participación en los precios finales y por ende en la competitividad, es esencial establecer maneras de ampliar la producción de materias primas a bajos precios, mediante incrementos de

productividad y otros mecanismos, sin los cuales la sostenibilidad económica del etanol en México estará siempre perjudicada.

Finalmente, en un estudio realizado por la Secretaría de Energía (SENER) y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se recomendaba un programa de introducción gradual del etanol con tres fases, hasta llegar a incorporarlo en 10 por ciento en todas las gasolinas de México. Lo anterior permitiría una reducción en las importaciones de gasolinas y un ahorro en la balanza de pagos de hasta 2 millones de pesos, además de mitigar en 10.6 millones de toneladas de bióxido de carbono al año con base en una producción a partir de caña de azúcar” (SENER, 2006). El estudio parece factible para un país que cuenta con la infraestructura necesaria y el apoyo gubernamental para impulsar un verdadero mercado energético a través del etanol.

El presente capítulo abordó la literatura y el marco teórico del análisis costo beneficio y el complejo tema de las necesidades y potencialidades del etanol en la matriz energética mexicana. Seguramente otros y más detallados trabajos deban ser realizados a partir de esa base, sin embargo ya es posible discernir que México presenta elementos relevantes que favorecen esa evolución energética y visualizar que, temprano o tarde, los mexicanos estarán utilizando combustibles renovables. En ese sentido es vital preparar desde ahora la introducción progresiva de la producción y uso del etanol en bases consistentes, vista desde la perspectiva del análisis costo beneficio privado y social.

## **CAPITULO IV. ANÁLISIS EMPÍRICO COSTO BENEFICIO DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN MÉXICO**

### ***4.1 Evaluación Microeconómica Privada del Proyecto***

En el presente capítulo se llevará a cabo una evaluación empírica de los proyectos para la producción de etanol. El capítulo comienza mencionando los puntos principales que se abordarán en la evaluación de proyectos microeconómicos, para después continuar con la evaluación macroeconómica.

Un proyecto se puede definir como un documento en el se consideran los distintos estudios, que permitirán planear la correcta utilización de recursos, para la obtención de uno o más productos y subproductos, en un periodo de tiempo determinado y evaluar si se justifica la orientación de esos recursos a esa actividad productiva (Muñante, 2004).

De igual manera, un proyecto es una serie de planteamientos encaminada a la producción de un bien o la prestación de un servicio, con el empleo de cierta metodología y con miras a obtener determinado resultado, desarrollo económico o beneficio social (Hernández, 2001). Un proyecto agrícola, es una actividad en la que se invertirá dinero con la esperanza de obtener un rendimiento y que, desde el punto de vista lógico, parece prestarse a su planificación, financiamiento y ejecución como una unidad.

El proyecto constituye un elemento operativo más pequeño preparado y ejecutado como una entidad independiente de un plan o programa nacional de desarrollo agrícola. Es una actividad específica, con un punto de partida y un punto final específico. El proyecto tendrá una secuencia bien definida de actividades de inversión y producción, y conjunto específico de beneficios que podremos identificar, cuantificar y, usualmente en proyectos agrícolas, determinar un valor monetario para ellos. El proyecto agrícola esta constituido por todo el complejo de actividades que despliega la empresa para utilizar recursos con objeto de obtener beneficios (Gittinger, 1983).

Mientras que se puede describir un Proyecto de inversión como un plan al que se le asigna un determinado monto de capital y se le proporciona insumos de varios tipos, podrán producir un bien o un servicio útil al ser humano o a la sociedad en general (Baca, 1999). Se puede entender como proyecto de inversión, a una serie de planes que se piensan

poner en marcha, para dar eficacia a alguna actividad u operación económica o financiera con el fin de obtener un bien o servicio en las mejores condiciones y obtener una retribución (Hernández, 2001).

La evaluación económica del proyecto consiste en analizar y comparar todos los costos y beneficios comprendidos en el proyecto para determinar, a través de los indicadores, la rentabilidad que este ofrece. La evaluación económica de proyectos, es un análisis metodológico que permite comparar los costos con los beneficios presupuestados a fin de determinar si el proyecto generará una adecuada rentabilidad financiera y/o social, y definir con base a los indicadores de rentabilidad, si es conveniente o no la realización del proyecto. La evaluación económica de proyectos, puede realizarse bajo dos enfoques o criterios; el primer enfoque sería desde el punto de vista social, llamado análisis social o económico de proyectos; el segundo enfoque, es desde el punto de vista privado, llamado análisis privado o financiero de proyectos.

El análisis económico o social de proyectos determina la rentabilidad económica del proyecto para la sociedad en su conjunto, sin importar el sector social que aporte los recursos o el sector social que se beneficie. Por lo tanto este análisis determinará la rentabilidad social del proyecto.

El Valor Actual Neto es conocido también como Valor Presente Neto (VPN), que se determina por la diferencia entre la sumatoria de el valor actualizado de la corriente de beneficios menos la sumatoria del valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización previamente determinada. También se puede determinar por el valor de la sumatoria del flujo de fondos actualizados o los beneficios incrementales netos actualizados a una tasa previamente determinada. Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Si el VPN es mayor que cero se puede aceptar la inversión.

La relación Beneficio Costo es el cociente que resulta de dividir la sumatoria del valor actualizado de la corriente de beneficios entre la sumatoria del valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización previamente determinada.

Mientras que la Tasa Interna de Retorno es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto sea igual a cero; así mismo es conocida como la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

Se denomina Análisis de Sensibilidad (A.S.) al procedimiento por el cual, se puede determinar cuanto se afecta (que tan sensible es) la TIR ante los cambios en determinadas variables del proyecto (Baca, 1990). Se ha manifestado que, las proyecciones con que se elaboran los costos y los beneficios de un proyecto están sujetos a un cierto grado de riesgo e incertidumbre; una forma de medir éste es a través del análisis de sensibilidad, también denominado “análisis que pasa si...” el cual consiste en elaborar un nuevo flujo de costos y beneficios haciendo variar algunas variables de riesgos, con la finalidad de ver que sucede con la rentabilidad del proyecto bajo estas condiciones diferentes a las que sirvieron de base para el análisis inicial (Muñante, 2004).

Estas variaciones en las variables de riesgo, van a modificar el valor de los indicadores de rentabilidad económica, indicándonos el grado de sensibilidad del proyecto (al o a los) cambios de las variables modificadas para que a partir de éstos resultados se dé un dictamen sobre el proyecto con mayor sustento.

En los proyectos agrícolas, y en general para cualquier proyecto de inversión, se debe medir su grado de sensibilidad a las variaciones de los elementos en cuatro campos o conceptos principales.

#### Precio

Se refiere a medir el grado de sensibilidad del proyecto a bajas en los precios de ventas del producto y o aumento de los costos de operación. Estos pueden aumentar por incrementos en los precios de los insumos, lo que hace probable disminución en la rentabilidad del proyecto debido a esta variación.

#### Demora en la ejecución de los proyectos

Consiste en verificar el grado de sensibilidad de los proyectos en la demora de la ejecución o logros de los objetivos planeados.

### Costos de inversión superior a los servicios previstos

Permite verificar el grado de sensibilidad de los proyectos a los incrementos de los costos de inversión, debido principalmente a retrasos en la ejecución; debe tomarse en cuenta principalmente en proyectos donde se consideren construcciones y adquisiciones de maquinaria y/o equipos, ya que en economías altamente inflacionarias los precios futuros a mediano plazo son muy inciertos.

### Rendimientos

Existe la tendencia en los proyectos agrícolas a ser muy optimista acerca de los posibles rendimientos, en especial cuando los previstos se basan en pruebas especiales. El análisis de sensibilidad debe realizarse considerando rendimientos más bajos que los establecidos en el análisis inicial; el análisis nos puede proporcionar información útil, no solo en cuanto al dictamen basado en el grado de sensibilidad, sino además, proponer servicios de extensión apropiados con la finalidad de lograr la rentabilidad deseada.

### Grados de sensibilidad y dictamen

Muñante (2004), propone ciertos grados con respecto a la sensibilidad y dictamen de los proyectos.

Cuadro 4.1. Grados de Sensibilidad y Dictamen.

<b>Grado de Sensibilidad</b>	<b>Rango de Variación</b>	<b>Dictamen</b>
Muy Sensible	<5%	Negativo
Sensible	5%<10%	Negativo condicionado
Moderada	10%<15%	Condicionado
No es sensible	>15%	No condicionado
<b>FUENTE:</b> Muñante P., D 2004. Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión. Apuntes del Curso. Ed. UACH. México.		

De lo anterior se propone que, se considere con dictamen negativo a los proyectos que resulten muy sensibles a cualquiera de las variables de riesgo seleccionada; considerándose en esta situación a los proyectos en el que se alcance el valor crítico de los indicadores con un porcentaje de variación menos del 5% en cualquier variable. Se debe considerar un proyecto con dictamen negativo cuando este demuestre ser sensible a cualquiera de las variables de riesgo seleccionadas. Deben considerarse en esta situación,

los proyectos en que se alcance el valor crítico de los indicadores con un porcentaje de variación entre 5% y menos del 10% en cualquier variable. Se debe dictaminar condicionado a un proyecto cuando este demuestre una sensibilidad moderada. Deben considerarse en esta situación, los proyectos en que se alcance el valor crítico de los indicadores con un porcentaje de variación entre 10% y menos del 15% en cualquier variable. Por último se debe dictaminar a un proyecto como no condicionado, cuando este demuestre que no es sensible a ninguna de las variables de riesgo seleccionadas considerándosele en esta situación, cuando para alcanzar el valor crítico de los indicadores se requieran variaciones mayores de 15% en cualquiera de las variables.

#### 4.1.1 Proyecto Microeconómico

Como se menciona en el capítulo dos, el etanol es una alternativa para el Sector Azucarero Mexicano, distintos investigadores han utilizado datos para estimar la viabilidad del etanol a base de caña de azúcar.

Enriquez Poy desde que su inserción en el Sector Cañero ha buscado alternativas para la caña de azúcar, entre las principales alternativas destaca la producción de Etanol anhidro en las destilerías anexas a los ingenios azucareros.

Villegas (2001) fue el primero en plantear un proyecto piloto para producir 197,500 toneladas de etanol por año, las especificaciones y bases del diseño industrial, la estimación de la inversión y del capital de trabajo requeridos y el costo del transporte del Etanol anhidro de la destilería a las Refinerías de PEMEX.

El Proyecto Pro-Etanol de CONIP tenía como objetivos el de demostrar la conveniencia, por razones de carácter ecológico y socioeconómico, de utilizar en México compuestos oxigenados renovables como componentes de las gasolinas automotrices. De igual manera, era el de asegurar la mínima emisión de contaminantes mediante el uso de compuestos oxigenados.

Asimismo, el proyecto busca el apoyo de las autoridades, de las organizaciones agrarias, de los agricultores, de los industriales y de la banca para:

- Reincorporar e incorporar nuevas tierras al cultivo de la caña

- Aplicar modernas técnicas agrícolas y de control administrativo para elevar la productividad y rentabilidad del campo cañero.
- Incrementar los rendimientos de la caña de azúcar a 100 toneladas por hectárea.
- Obtener rendimientos de etanol rentable.
- Producir etanol a partir de guarapo y mieles.
- Incorporar a México a la tendencia mundial de producción de gasolinas reformuladas.

La utilización de componentes oxigenados en las gasolinas de México, comienza en el año de 1990 incorporando 5% de MTBE a las gasolinas Magna Sin y Nova. Este programa actualmente está basado en la importación de MTBE, pues a pesar de que PEMEX planeó disponer de producción propia y eliminar importaciones de MTBE hacia 1995, la sobre capitalización y la falta de rentabilidad, cancelaron la construcción de varias plantas de MTBE en las refinerías de Petróleos Mexicanos. Esta producción faltante podría ser sustituida por la producción de Etanol proveniente de caña de azúcar nacional.

Por otro lado, el alcohol se produce a partir de las mieles finales, un subproducto de la caña de azúcar. Durante la zafra 2004/2005 los ingenios reportaron la producción de etanol como sigue.

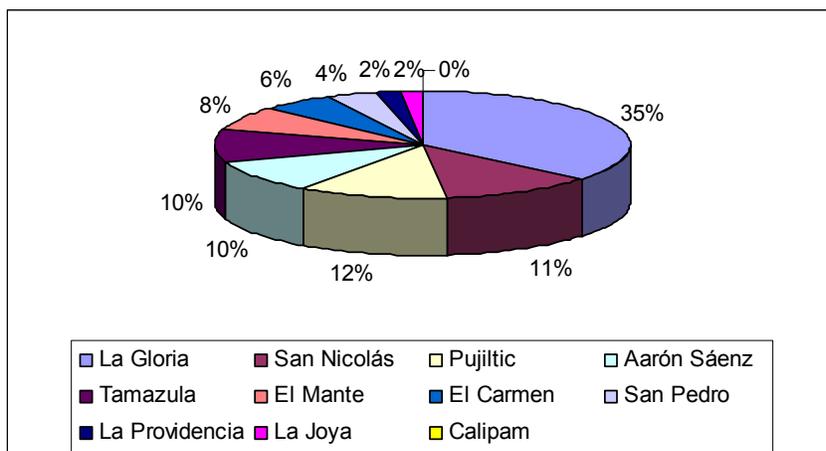
Cuadro 4.2. Producción de Etanol en México por Ingenio.

<b>Ubicación Estado</b>	<b>Ingenio</b>	<b>Producción de Etanol en la Zafra 2004-2005 (Litros)</b>
Veracruz	La Gloria	20,168,528
Veracruz	San Nicolás	6,809,642
Chiapas	Pujiltic	6,458,594
Tamaulipas	Aarón Sáenz	5,581,691
Jalisco	Tamazula	5,437,342
Tamaulipas	El Mante	4,258,305
Veracruz	El Carmen	3,139,200
Veracruz	San Pedro	2,076,000
Veracruz	La Providencia	1,171,386
Campeche	La Joya	908,371
Puebla	Calipam	5,181
<b>TOTAL</b>		<b>56,014,240</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcohólica. Nota: Rendimiento Variable de (40-80%).

Como ya se mencionó, en México se producen 56 millones de litros, como se puede observar en el cuadro anterior, el estado de Veracruz es el que más produce con 33 millones de litros en los 4 ingenios. Ahora bien, el ingenio con mayor producción es la Gloria con un 35% de la producción.

**Figura 4.1. Porcentaje de la producción de etanol por ingenio**



Sin embargo, México tiene un importante potencial para producir Etanol a partir de Caña de Azúcar. El etanol se produce de dos maneras distintas, la primera es utilizando melaza y la otra forma es mediante las mieles; tanto la melaza como las mieles se generan en el proceso de fermentación de la caña de azúcar. En el siguiente cuadro se describe el potencial de etanol por materia prima.

Disponibilidad de Materias Primas		Se obtendrían:	
Materia Prima	%	Litros alcohol/TM	Litros/TM caña
Jugo Claro	1.1	65-70	71.5-77
Jugo Filtrado	0.018	37.6	0.67
Miel "A"	0.065	326	17.93
Miel "B"	0.052	265-280	14.6-15.4
Melaza	0.038	235-250	9.4-10

Fuente: Elaboración propia con datos CNIAA

Del cuadro anterior, si utilizamos Jugo claro obtenemos hasta 77 litros de etanol por tonelada de caña de azúcar, con la utilización de mieles obtenemos hasta 17.93 y 15.4 litros por tonelada de caña de azúcar y en caso de utilizar melaza obtenemos 10 litros por tonelada de caña de azúcar.

La Cámara Nacional de Industrias Azucarera y Alcoholicas menciona que en México la infraestructura para producir alcohol es la siguiente:

Cuadro 4.3. Infraestructura para la producción de alcohol en México. (Zafra 2004/2005.)

Miel final producción 85° Bx ton.	1,729,498	Ton
Miel final aportada a destilerías (ton)	232,790	Ton
Producción de miel final por tonelada de caña	39.68	Kg/Ton de caña
Rendimiento de alcohol por ton de miel	253	Litros/ton de miel
Remanente de miel final	977,859	Ton de miel final
Alcohol a producir con el remanente final	247	Millones de litros de alcohol

De los 60 ingenios azucareros que operan en México, en 21 se tienen destilería anexa, de las cuales operaron 17 destilerías. Además, se estima una capacidad total instalada de 542 mil litros de alcohol por día. Si consideramos los 330 días de operación al año, la producción total anual podría alcanzar 206 millones de litros.

El proyecto piloto para producción de 197,500 toneladas de etanol por año comprende dos proyectos. Primero el proyecto de campo que comprende la producción y abastecimiento de 2 millones de toneladas de caña/año, para su uso exclusivo en la producción de etanol. El segundo proyecto es el industrial que comprende la modernización e incremento de la capacidad de molienda de un tándem de molinos existentes, para que sea capaz de moler de 10 a 12 mil toneladas de caña por día; y la instalación de una nueva fabrica de alcohol etílico con capacidad de producción de hasta un millón de litros de etanol anhidro por día de zafra.

La nueva destilería se conceptualiza como un proyecto de producción de energéticos a partir de 2 millones de toneladas de caña por año, obteniendo como producción comercializable estimada 250 millones de litros por año de etanol anhidro.

El subproyecto industrial comprende especificaciones y bases de diseño principales las siguientes determinaciones:

- La capacidad estimada o de diseño de la destilería será de 250 millones de litros de etanol anhidro con molienda de 214 días y un periodo total de fermentación de 254 días.

- La destilería utilizará dos materias principales: a) El guarapo clarificado resultante de la molienda de 2 millones de ton caña/año, y del cual se espera un rendimiento de 140 millones de litros de etanol por año equivalente a 110 mil toneladas de etanol; y b) Mieles o melaza provenientes de propio ingenio en cantidades necesarias para que la destilería alcance la producción estimada de 197,500 toneladas de etanol en 254 días de trabajo.

Producción anual de la planta o destilería estaría diseñada para producir 1 millón de litros de etanol anhidro por día (790 toneladas/día); esta producción será obtenida durante 194 días que comprenden los periodos de la zafra y la post-zafra. Durante los 60 días de pre-zafra, la producción será de 933,333 litros/día de acuerdo con la calidad de la miel disponible.

Cuadro 4.4. Plan anual de operación de la Destilería.

Periodo	Días Efectivos	Materia Prima Toneladas por periodo			Producción de Etanol Anhidro		
		Caña	Jugo	Mieles	Diaria Lts	Periodo Lts	Ton
Pre-zafra	60	600,000	570,000	47,050	933,333	56,000,000	44,240
	Mol. 60				J: 750,000	J: 45,000,000	J: 35,550
	Ferm. 60				M:183,333	11,000,000	M: 8,690
Zafra	120	1,200,000	1,140,000	121,106	1,000,000	120,000,000	94,800
	Mol. 120				J: 750,000	J: 90,000,000	J: 71,100
	Ferm. 120				M: 250,000	M: 30,000,000	M: 23,700
Post-Zafra	74	200,000	190,000	201,844	1,000,000	74,000,000	58,460
	Mol. 34				J: 441,000	J: 32,630,000	J: 25,780
	Ferm. 74				M: 559,000	M: 41,370,000	M: 32,680
<b>Año</b>	254	20,000,00	1,900,000	370,000	2,933,333	250,000,000	197,500
	Mol. 214				J: 660,000	J: 167,630,000	J: 132,420
	Ferm. 254				M: 325,000	M: 82,370,000	M: 65,080

Nota: Mol.=Molienda. Rendimiento alcohol/ton. Caña= 75 lts  
 Ferm.=Fermentación. Rendimiento alcohol/ton. Miel= 250 lts  
 J.=Jugo, M.= Miel

En el análisis, el capital de trabajo, es decir, el capital con que hay que contar para empezar a trabajar, se estima 9.486 millones de dólares. Esta cifra se integra considerando

2 meses del costo de la caña, más lubricantes y los productos químicos; además agregando la sexta parte de costos anualizado de la mano de obra, de la administración, del mantenimiento y de los gastos de operación (incluyen seguros, vehículos, fax, papelería y artículos de limpieza, etc.). La integración de la cifra estimada de capital de trabajo se muestra a continuación.

Con base en los costos de inversión de una destilería típica, se hace el siguiente estimado de inversión:

Cuadro 4.5. Estimación de la Inversión y del Capital de Trabajo requeridos

<b>Concepto Terreno</b>	<b>Cifras (millones de dólares) sin costo</b>
Sistema de Molienda (existente y depreciado)	10
Destilería Completa	20
Sistema de captación y clarificación de agua de río,	2.5
Edificio Administrativo, laboratorios y almacén	0.5
Tanques de almacenamiento y sistemas de	2.5
<b>Total</b>	<b>35.5</b>

La integración del costo de la destilería se estima como sigue:

Cuadro 4.6. Costo estimado de la Destilería.

<b>Concepto</b>	<b>Monto (mdd)</b>	<b>Porcentaje</b>
Tecnología e ingeniería básica	0.55	2.75
Ingeniería de detalle y servicios en campo	1.25	6.25
Equipo mayor	5.8	29
Estructuras, tuberías y conexiones	2.8	14
Instrumentos	1.8	9
Construcción	5.4	27
Administración del proyecto	2	10
Capacitación, prueba de equipo y arranque	0.4	2
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100</b>

Cuadro 4.7. Cifra estimada del Capital de Trabajo

<b>Concepto</b>	<b>Monto (millones de dólares)</b>
Costo de dos meses	8.400
Mano de obra	0.352
Mantenimiento	0.438
Lubricantes y productos químicos	0.242
Gastos operacionales diversos	0.050
<b>TOTAL</b>	<b>9.482</b>

La estimación del costo de producción se puede observar en las siguientes tablas que muestran en costo actualizado del personal laboral.

Cuadro 4.8. Plantillas de personal y su costo actualizado (periodo 12 meses de año).

<b>Num. Personas</b>	<b>Personal Administrativo</b>	<b>dls/mes</b>	<b>dls/año/persona</b>	<b>dls/año</b>
1	Gerente General	4,660	55,920	55,920
1	Secretaria Ejecutiva	1,166	13,992	13,992
1	Gerente Ventas y Contabilidad	3,500	42,000	42,000
1	Secretaria Ejecutiva	1,166	13,992	13,992
1	Auditor	2,333	27,996	27,996
1	Ayudante de Auditor	1,750	21,000	21,000
1	Jefe de Caja	2,916	34,992	34,992
1	Subjefe de Contabilidad	2,333	27,996	27,996
1	Ayudante de Contabilidad	1,750	21,000	21,000
1	Jefe de Personal	2,916	34,992	34,992
1	Subjefe de Personal	2,333	27,996	27,996
3	Secretarias Generales	700	8,400	25,200
1	Intendente	1,166	13,992	13,992
2	Mozos de Intendencia	700	8,400	16,800
<b>Subtotal</b>				<b>377,868</b>

La plantilla de personal y su costo actualizado incluyendo vacaciones, aguinaldos y prestaciones, según la ley. Los costos actualizados se estiman de la siguiente manera.

Cuadro 4.9. Plantilla de Personal (costos actualizados).

<b>No. Pers</b>	<b>Plantilla de Personal y Mantenimiento</b>	<b>Dls/mes</b>	<b>Dls/año /persona</b>	<b>Dls/año</b>
1	Gerente de Producción	3,500	42,000	42,000
1	Gerente de Fuerza	2,916	34,992	34,992
1	Gerente de Mantenimiento	2,916	34,992	34,992
1	Gerente de Servicios, Control e Informática	2,333	27,996	27,996
3	Superintendentes turno producción	2,333	27,996	83,988
3	Superintendentes turno Batey	2,333	27,996	83,988
1	Técnico Servicios Control e Informática	1,161	13,932	13,932
3	Superintendentes turno Fuerza	2,333	27,996	83,988
3	Secretarias Generales	700	8,400	25,200
<i>Subtotal</i>				<i>431,076</i>
<b>a) Molino:</b>				
3	Jefes de Turno A	1,855	22,260	66,780
3	Jefes de Turno B	1,708	20,496	61,488
3	Jefes de Turno C	1,413	16,956	50,868
3	Supervisores	1,192	14,304	42,912
<i>Subtotal</i>				<i>222,048</i>
3	Operadores de Grúa Radial	1,413	16,956	50,868
3	Operadores de Grúa Tripié	1,137	13,644	40,932
3	Basculeros	1,145	13,740	41,220
3	Capitanes de molino	1,142	13,704	41,112
3	Cabos correas batey	1,184	14,208	42,624
3	Cabos de agua	1,041	12,492	37,476
3	Engrasadores de Molino	983	11,796	35,388
3	Engrasadores de Correa	610	7,320	21,960

3	Bomberos de Petróleo	639	7,668	23,004
3	Bomberos de Guarapo	581	6,972	20,916
3	Ayudante de Grúa Radial	683	8,196	24,588
3	Ayudante de Tablerista	492	5,904	17,712
3	Operarios tuberías batey	1,069	12,828	38,484
3	Operarios tuberías molinos	1,069	12,828	38,484
3	Peones Canalero molinos	474	5,688	17,064
	<i>Subtotal</i>			<i>491,832</i>
	<b>b) Destilería</b>			
3	Jefes de Turno destilería	1,855	22,260	66,780
9	Operadores de Turno, destilería	1,669	20,028	180,252
3	Mecánico turno, diversos oficios	1,669	20,028	60,084
6	Ayudantes generales turno (limpieza)	600	7,200	43,200
	<i>Subtotal</i>			<i>350,316</i>
	<b>c) Seguridad (Reporta a Gerente de Mantenimiento)</b>			
1	Jefe de Seguridad e Inspección de Planta	1,855	22,260	22,260
1	Ayudante de Inspección Planta	1,069	12,828	12,828
6	Bombero contra incendios, turno	800	9,600	57,600
12	Vigilantes, turno	600	7,200	86,400
	<i>Subtotal</i>			<i>179,088</i>
	<b>d) Tanques, Despacho y Almacenes (TDA)</b>			
1	Jefe de TDA (Reporta a Gerente de producción)	1,855	22,260	22,260
3	Operadores de Despacho, turno	800	9,600	28,800
3	Almacenistas	600	7,200	21,600
	<i>Subtotal</i>			<i>72,660</i>
	<b>Total</b>			<b><i>1,747,020</i></b>

### Precio del Etanol

Con relación al precio de venta del etanol, se entiende que este estudio tiene por objeto definir el más conveniente, tomando en cuenta los precios nacionales e internacionales, los costos de producción del proyecto, habiendo considerando todos los insumos, la mano de obra, los gastos financieros y el trabajo de producción de la destilería.

Suponiendo que el mercado de combustibles en México es parcialmente competitivo ya que no existe un monopolio natural en el mercado, el costo neto anual de producción del etanol en México deberá ser competitivo, pues de otra manera, PEMEX está obligado por ley a licitar la compra de los insumos y bases que se adicionan a las gasolinas que se expanden en nuestro país. Bajo este contexto, si el precio del etanol en los mercados internacionales es más competitivo que el producido en México, la paraestatal estaría obligada a importar el etanol anhidro del extranjero.

En Estados Unidos el precio del etanol es de \$0.758 dólares por litro (CBOT, 22 de junio de 2008), equivalente \$7.73 pesos (con un tipo de cambio de 10.20) y en Brasil el precio de etanol por litro es de 0.55 dólares por litro (BM&F, 22 de junio de 2008), lo que equivale a \$5.61 pesos por litro. El costo anual de producción del etanol que se propone en este estudio es de 0.97 pesos/litro.

De lo anterior, podemos calcular el costo neto anual de producción de Etanol.

Cuadro 4.10. Costo Neto Anual de producción (CNA) del Etanol Bases: Costos con la destilería operando a capacidad nominal.

Nota: No se incluyen gastos financieros.

<b>Costos Fijos</b>	<b>US dls</b>
Mano de Obra	1,813,799
Administración	340,000
Mantenimiento	2,628,000
Gastos operacionales	300,000
<i>Parcial</i>	5,081,799
<b>Costos Variables</b>	
Caña	34,000,000
Melaza	19,043,900
Lubricantes y productos químicos	1,227,000
Combustóleo	5,764,000
<i>Parcial</i>	60,034,900
<i>Suma</i>	65,116,699
<b>Créditos</b>	
<i>Créditos por Vinazas</i>	1,020,000
<i>Parcial</i>	1,020,000
<i>CNA del etanol anhidro</i>	23,676,699

De igual manera, podemos estimar el costo neto unitario del etanol en pesos por litro.

Cuadro 4.11. Costo neto unitario del etanol.

El costo neto unitario sería igual a  $23,676,699/197,500=119.88$  dls/ton

Equivalente a  $(119.88/334.43)=0.358$ dls/galón

Equivalente a  $(0.358 \times 10.2)/3.758=0.97$  pesos/litro

Como las refinerías de PEMEX representan el destino final del etano anhidro, en donde se usará como componente oxigenante de las gasolinas en sustitución del MTBE, para el estudio se realizó un sondeo con diferentes empresas transportistas para definir las ventajas y costos de los 2 posibles medios de transporte: ferrocarril y carretera.

Los resultados fueron los siguientes, en el siguiente cuadro se muestra el costo estimado de transporte por auto tanque de las destilerías hacia las diferentes refinerías de PEMEX:

Cuadro 4.12. Costo Estimado de Transporte del Etanol a las Refinerías

<b>Destino</b>	<b>Precio aproximado (pesos/litros)</b>
A Cd. Madero	0.3
A Cadereyta	0.3
A Tula	0.16
A Salamanca	0.24
A Minatitlán	0.1
A Salina Cruz	0.2

El flete por ferrocarril entre las mismas destilerías y la refinería de Salamanca se estima en 13.1 centavos de peso por litro más IVA, ó 8 centavos de dólar por galón más 15% del IVA. En general se encontró que el transporte de etanol por carretera es de 20 a 30% más alto que el transporte por ferrocarril, sin embargo las tarifas son negociables de acuerdo con la frecuencia y el volumen total a manejar por año, lo que no ocurre con el Ferrocarril donde los precios son fijos.

### **Financiamiento de la destilería.**

La fórmula más conveniente de financiamiento de la nueva destilería, es la integración de un capital accionario de 35.9 millones de dólares (46.3%), complementado por un apalancamiento de la banca internacional de 41.7 millones de dólares (53.7%).

Esta formula de financiamiento contempla que el apalancamiento pague una tasa de interés de 10% anual sobre saldos insolutos, cifra que resulta de agregar 1.25 puntos por apertura de créditos y otros gastos, a la tasa prima (Prime Rate) en los Estados Unidos.

### **Análisis Financiero de la Nueva Destilería**

El análisis financiero de la nueva destilería se ha realizado tomando en cuenta todos los factores que inciden en ellas, con el mayor grado posible de certidumbre. Para ello realizamos las siguientes fases:

- El precio de la caña durante los primeros 10 años de operación de la destilería es variable y decreciente. Los primeros años será de 21 dólares y al final 13 dólares, tomamos un promedio de 13 dólares por tonelada en los 10 años.
- El consumo anual de mieles y melaza, como materia prima, se consideran equivalentes a 370 mil toneladas por año de melaza, la cual tendrá un precio fijo durante toda la década de 51.47 dólares por tonelada.
- El costo anual del combustóleo se mantiene constante durante la década con base en un precio unitario de 94.75 dólares por tonelada.
- Con relación al precio de venta del etanol puesto en la destilería, con el objeto de hacerlo competitivo y permitir su empleo en grandes volúmenes como componente de gasolina, se le atribuye durante los 10 primeros años de operación de la destilería un precio promedio de 0.4 dólares /galón, resultante de un precio variable y descendente desde 0.5 dólares/galón en los años 1 y 2 hasta 0.3 dólares por galón en los años 9 y 10.

Cuadro 4.13. Relación de la variación de precios de la caña y de venta del etanol puesto en la destilería.

(Cifras en millones de dólares)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio de caña* (dls/ton)	21	21	19	19	17	17	15	15	13	13
Precio Etanol** (dls/galón)	0.5	0.5	0.45	0.45	0.4	0.4	0.35	0.35	0.3	0.3
Precio*** (pesos/litro)	1.24	1.24	1.12	1.12	0.99	0.99	0.87	0.87	0.74	0.74

\*precio promedio 17dls/galon

\*\*puesto en destileria precio promedio 0.4dls/galón

\*\*\*Precio promedio 0.99 pesos por litro

Cuadro 4.14. Costo anual de operación de la Destilería (CAO). (Cifras en millones de dólares por año).

<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Precio</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>Costos Fijos</b>										
Mano de Obra	1.451	1.814	1.814	1.814	1.814	1.814	1.814	1.814	1.814	1.814
Administración	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Mantenimiento	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628	2.628
Gastos Operacionales	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<i>Parcial</i>	4.719	5.082	5.082	5.082	5.082	5.082	5.082	5.082	5.082	5.082
<b>Variables</b>										

Caña	33.6	42	38	38	34	34	30	30	26	26
Mieles	15.235	19.044	19.044	19.044	19.044	19.044	19.044	19.044	19.044	19.044
Lubr y Prod Quím.	0.902	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127
Combustóleo	4.611	5.764	5.764	5.764	5.764	5.764	5.764	5.764	5.764	5.764
<i>Parcial</i>	54.348	67.935	63.935	63.935	59.935	59.935	55.935	55.935	51.935	51.935
<i>CAO</i>	59.067	73.017	69.017	69.017	65.017	65.017	61.017	61.017	57.017	57.017

Segunda fase: Cálculo de liquidación del apalancamiento, sobre las siguientes bases:

1. Tiempo de ejecución del proyecto: 30 meses.
2. El financiamiento de 41.7 millones de dólares se ejerce de la siguiente manera: 20% del sexto mes del proyecto, 20% al mes 12 de ejecución del proyecto (recibo en planta de los equipos principales); 25% al mes 24 (término del montaje de los equipos principales y 35% al mes 30 (terminación de la construcción).
3. Los intereses generados por los anticipos del apalancamiento (4.87 millones de dólares), se acumulan al principal para un total de 46.579 millones de dólares de adeudo durante el primer año de operación de la planta.

Cuadro 4.15. Amortización del Financiamiento (Cifras en millones de dólares por año).

<b>Año de Operación</b>	<b>Saldo de Principal</b>	<b>Pago anual</b>	<b>Amortización de principal</b>	<b>Intereses</b>
1	46.58	6.94	3.21	3.37
2	43.37	6.94	3.48	3.46
3	39.89	6.94	3.75	3.19
4	36.14	6.94	4.05	2.89
5	32.09	6.94	4.37	2.57
6	27.72	6.94	4.73	2.21
7	22.99	6.94	5.1	1.84
8	17.89	6.94	5.5	1.44
9	12.39	6.94	5.96	0.98
10	6.43	6.94	6.43	0.51
	285.49	69.4	46.58	22.46

Tercera fase: Determinación del Estado Pro-forma de Resultados sobre las siguientes bases:

1. Precio promedio de venta de la energía eléctrica = 60 dls/MWH
2. Impuesto sobre utilidades = 35% de la utilidad contable
3. Participación de utilidades = 10% de la utilidad contable menos impuestos

Cuadro 4.16. Estado Pro-Forma de resultados de la Destilería. (Cifras en millones de dólares por año).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ingresos</b>										
Vta de Etanol	58.123	72.645	69.325	69.325	66.05	66.05	62.747	62.747	59.447	59.447
Vta de energía	16.128	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16
<i>Suma</i>	74.251	92.805	89.485	89.485	86.21	86.21	82.907	82.907	79.607	79.607
<i>CAO</i>	59.067	73.017	69.017	69.017	65.017	65.017	61.017	61.017	57.017	57.017
<i>Utilidad Bruta</i>	15.184	19.788	20.468	20.468	21.193	21.193	21.89	21.89	22.59	22.59
<i>Pago Financiero</i>	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94
<i>Despreciación</i>	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
<i>Utilidad Contable</i>	3.654	8.258	8.938	8.938	9.663	9.663	10.36	10.36	11.06	11.06
<i>Impuesto</i>	1.2789	2.8903	3.1283	3.1283	3.38205	3.38205	3.626	3.626	3.871	3.871
<i>Part. Utilidad</i>	0.23751	0.53677	0.58097	0.58097	0.628095	0.628095	0.6734	0.6734	0.7189	0.7189
<i>Utilidad Neta</i>	2.13759	4.83093	5.22873	5.22873	5.652855	5.652855	6.0606	6.0606	6.4701	6.4701

De la tabla se obtienen los siguientes datos:

- Utilidad neta acumulada en los 10 años= 53.8 millones de dólares
- Utilidad promedio anual = 5.38 millones de dólares
- Rentabilidad promedio sobre inversión inicial =  $(5.38/45.9)= 11.72\%$
- Rentabilidad promedio sobre inversión nueva =  $(5.38/35.9)= 14.98\%$

#### Cuarta fase: Determinación del Flujo de efectivos

Cuadro 4.17. Utilidad Neta y Flujo de efectivo de la destilería (Cifras en millones de dólares por año).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilidad Neta	2.13	4.83	5.20	5.20	5.65	5.65	6.06	6.06	6.47	6.47
Despreciación	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
<i>Excedente de</i>	6.73	9.42	9.82	9.82	10.24	10.24	10.65	10.65	11.06	11.06
<i>Excedente de</i>	6.73	16.15	25.97	35.79	46.03	56.27	66.92	77.57	88.63	99.69

De la tabla se obtienen los siguientes datos:

- Excedente de efectivo anual promedio= 9.96 millones de dólares
- Rentabilidad sobre la inversión accionaria total =  $9.96/45.9= 21.6\%$
- Rentabilidad total sobre inversión accionaria nueva=  $9.96/35.9=27.7\%$
- Tiempo de retorno de la inversión accionaria total=  $45.9/9.96=4.6$  años
- Tiempo de retorno de la inversión accionaria total=  $35.9/9.96=3.6$  años

#### Quinta Fase: Determinación de los indicadores Económicos

Al estimar los indicadores económicos de una destilería obtenemos el siguiente cuadro de resultados:

Cuadro 4.18. Indicadores Económicos (VAN, TIR y B/C)

	VALOR DE LOS INDICADORES EN EXCEL	VALORES
A	VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS	\$594.33
B	VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS	\$451.16
C	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	\$143.17
D	RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.32
E	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	45%
F	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**	50%

\*\* Considerando la Inversión nueva

Del cuadro anterior podemos afirmar que el proyecto de una destilería:

- Como el resultado del VPN es positivo, esto significa que la rentabilidad del proyecto es superior a la tasa de oportunidad del dinero en otra inversión.
- La relación Costo-Beneficio nos indica que por cada peso invertido en la planta de etanol obtienes 32 pesos.
- La TIR medida con distinta tasa de actualización y distinta inversión nos indica que el 45% y 50% es lo que obtienes de rendimientos una vez recuperados los costos.

## 4.2 Evaluación Macroeconómica

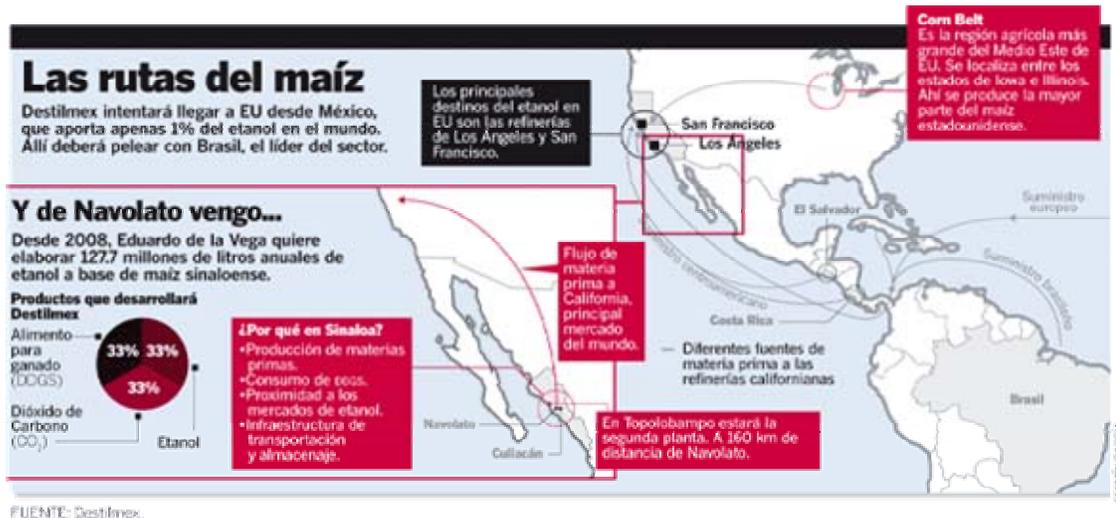
### 4.2.1 Marco contextual

En México todavía no hay antecedentes de producción de etanol a partir de maíz, apenas se están impulsando proyectos. La fundación emisión se ha encargado de difundir los proyectos de elaboración de etanol en todo el país.

A la fecha reportan lo siguiente:

- De acuerdo a la Fundación Emisión la primera planta de Etanol de Integral Bioenergy, estará lista en 18 meses, se ubicará en la región conocida como ‘Don Martín’, en Nuevo León y parte de Coahuila, en la que se invertirán 73 millones de dólares para producir unos 300 mil litros diarios de etanol a base de remolacha y sorgo dulce.
- La Fundación Emisión anunció el proyecto inicia en julio próximo tendrá una inversión de 60 millones de dólares para una planta en el estado de Sinaloa,

noroeste de México, con capacidad de 55 millones de galones de etanol (insumo maíz), sin embargo el gobernador anunció que se planean 3 plantas para el estado.



- Inversionistas Estadounidenses en asociación con empresarios de la India anunciaron una Mega planta en El Valle del Yaqui, con una inversión de 165 millones de dólares y pronostican una producción de un millón de litros diarios
- En Nayarit se ubicaría la tercera planta de etanol que, con una inversión de 80 mdd, se pretende producir medio millón de litros del biocombustible.

Alberto Cárdenas, Secretario de Agricultura aseguró que el país requiere, para empezar, 60 fábricas de etanol de 200 millones de dólares cada una, estamos hablando de 12 mil millones de dólares, con un financiamiento adecuado que ya esta ofrecido. “Es necesario que las 60 plantas cuenten con una capacidad para procesar 25 mil hectáreas de caña por planta”, mencionó el empresario

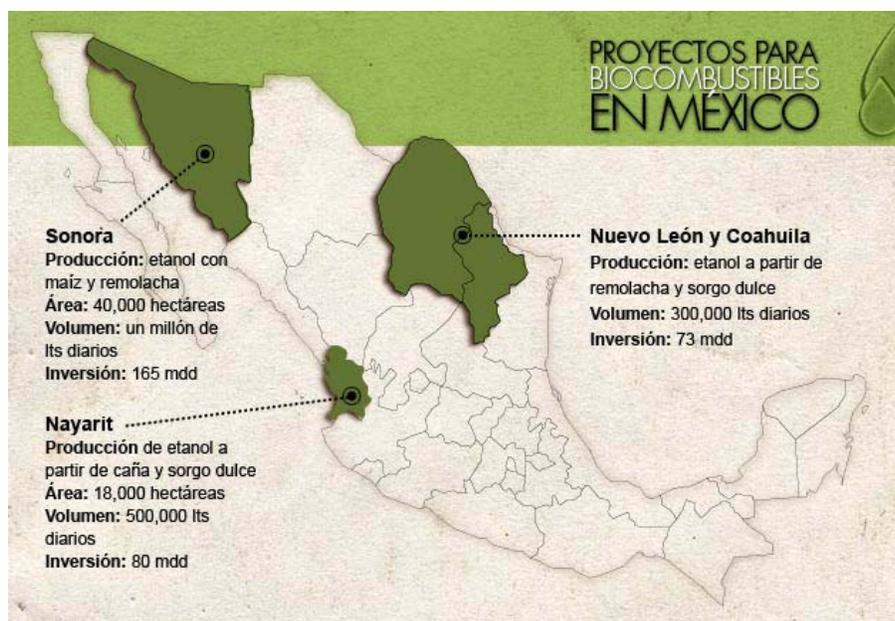
Aunado a lo anterior, el plazo para la construcción de cada unidad es de tres años y de sumar las 60 plantas, éstas producirían 10.8 millones de metros cúbicos de etanol al año, que servirían para mezclarse en 25 por ciento en las gasolinas.

En Tamaulipas, con la instalación de la planta de etanol en la región agrícola del Mante. El Gobierno de Eugenio Hernández Flores impulsará la reconversión de cultivos alternativos a caña de azúcar en 22 mil hectáreas, esta producción abastecerán de materia prima a la empresa productora del bioenergético. Será en una superficie del Distrito de

riego 092 Las Ánimas de los municipios Mante y González, la producción será reconvertida a caña de azúcar que actualmente se encuentran destinadas a la producción de maíz, sorgo y ganadería

Aseguró que esta extensión de más de 22 mil hectáreas será suficiente para abastecer a la planta de etanol que ha sido denominada “Los Aztecas” que ubicará en esta zona con gran vocación cañera, como uno de los grandes proyectos que generará riqueza a esta región del Estado.

Por otro lado, con la producción de etanol se busca que el productor cuente con mayores alternativas para incrementar sus ingresos al generar ellos mismos la materia prima, se requieren 22 mil hectáreas de caña de azúcar y 400 mil toneladas de sorgo para abastecer a las dos plantas”, manifestó el Secretario de Desarrollo Rural.



Fuente: CNN Expansión, 2007

#### 4.2.2 Etanol como combustible

Hoy en día, el combustible más común es la gasolina, este componente es una mezcla sintética compleja. Distintos estudios señalan que la gasolina que compramos en las gasolineras se hace mezclando gasolina natural con diferentes porcentajes de gasolina

proveniente de los procesos de polimerización, alquilación, isomerización, reformación y desintegración.

Además, se pueden hacer mezclas de gasolinas con índices de octano mayores que el del isooctano puro, o sea hasta de 110. Esto se logra agregando a la mezcla de gasolina compuestos llamados antidetonantes. El compuesto de este tipo más común es el tetraetilo de plomo (TEP).

Las gasolinas con plomo, como se les llama a aquellas que contienen TEP, resultan más baratas que las que no lo llevan. Así por ejemplo, si tenemos una mezcla de gasolina con un índice de octano de 60, al agregarle el TEP puede llegar a tener un octanaje de 80. Si la mezcla original tenía 90 de octano, con el aditivo puede subir hasta 110.

Ahora bien, la gasolina sin plomo cuesta más cara, porque si queremos subirle el octanaje a una mezcla de gasolina que tiene 60 de octano, y que es inadecuada para los automóviles, la única forma de lograrlo con los medios hasta ahora aceptados es aumentar la concentración de hidrocarburos aromáticos, tales como el benceno, tolueno, xilenos, provenientes.

Eliminar el **TEP** (tetraetilo de plomo) de las gasolinas implica usar **MTBE** (metil terbutil éter), **TAME** (ter-amil metil éter), aromáticos (benceno, tolueno, xilenos), isomerizados (isopentano, isohexano, isobutano), alquilados (isooctano), que dan alto octanaje a las gasolinas reformuladas, Magna Sin, Premium de PEMEX Refinación.

El etanol también aporta oxígeno al combustible y permite elevar el octanaje, lo que permite una mayor energía mecánica y por lo tanto una mayor potencia en los automóviles, además es amigable con el medio ambiente.

Sin embargo Donald Mitchell (2007), asegura que el etanol tiene un castigo en el kilometraje y lo explica de la siguiente manera:

#### Castigo en Kilometraje

- El etanol da 20 a 30 por ciento menos millas por galón que la gasolina
- El biodiesel da 5 a 10 por ciento menos millas por galón que el diesel

En el caso de la gasolina PEMEX Magna es una gasolina sin plomo formulada para automóviles con convertidor catalítico y en general motores de combustión interna a gasolina con requerimientos, por lo menos, de 87 octanos.

Los carros que normalmente requieren de gasolina PEMEX Magna se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.19. Requerimientos de Gasolina por Marca de Vehículo

MARCA	SUBM ARCA	OCTANAGE REQUERIDO	GASOLINA RECOMENDADA	CAPACIDAD EN LITROS DEL TANQUE	PRECIO DE LA GASOLINA MAGNA	COSTO TOTAL POR TANQUE
VOLKS WAGNER	POINT ER	87	MAGNA	51	7.13	363.63
FORD	FIESTA	87	MAGNA	45	7.13	320.85
FORD	FOCUS	87	MAGNA	50	7.13	356.5
DODGE	STRATUS	87	MAGNA	61	7.13	434.93
DODGE	ATOS	87	MAGNA	35	7.13	249.55
NISSAN	TSURU	87	MAGNA	50	7.13	356.5
CHEVROLET	CHEVY	87	MAGNA	46	7.13	327.98
CHEVROLET	MALIBU	87	MAGNA	62	7.13	442.06

Fuente: Elaboración Propia con datos de PEMEX y PROFECO

Dado que la tendencia a nivel mundial es añadir distintos porcentajes en volumen de etanol a las gasolinas, en el cuadro 32 se presentan las características de octanaje y energía para las mezclas 5%, 10%, 46% y 85% en volumen de etanol (el resto es gasolina), en el cuadro se aprecia que a mayor cantidad de etanol es mayor el octanaje.

Cuadro 4.20. Características de combustible con distintas cantidades de Etanol<sup>6</sup>.

Mezcla	Índice de octanaje	Contenido Energético (btu/gal)
E5	87.6	114,950
E10	88	112,900
E15	89	110,850
E46*	93	98,140
E85	98	82,150

\*Corresponde a la cantidad necesaria para que la gasolina magna tenga el mismo índice que la Gasolina Premium

<sup>6</sup> El octanaje que se tomó como base es el de la gasolina Magna y se tomó el contenido energético promedio.

Ahora bien, en el siguiente cuadro se exponen los litros para obtener la misma energía que con los litros de gasolina.

Cuadro 4.21. Equivalencias de las Mezclas

<b>Mezcla</b>	<b>Litros Equivalentes de Gasolina (LEC)</b>
E5	3.825
E10	3.8625
E15	3.975
E46*	4.4625
E85	5.325
E100	5.775

En México se consumen alrededor de 106 millones de litros diarios de gasolina de los cuales 85% es Magna y 15% gasolina Premium. Se evaluarán 3 mezclas de etanol con gasolina.

Cuadro 4.22. Requerimientos diarios de combustible para abastecer el parque vehicular con gasolina Magna-Etanol

<b>Mezcla</b>	<b>Combustible*</b>	<b>Gasolina*</b>	<b>Etanol*</b>
E5	88.875	84.45	4.4625
E10	89.775	80.775	8.9625
E15	92.3625	78.525	13.875

\*Millones de litros

Fuente: Elaboración Propia

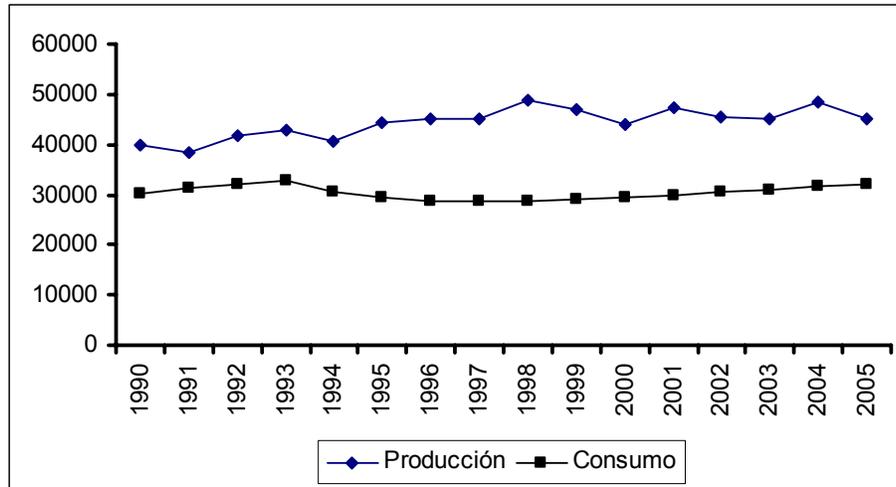
En México se produce el 70% de la gasolina que se consume, el resto se importa, con la utilización de etanol en la gasolina se reducirían las importaciones de gasolina, por lo que se ahorrarán divisas.

#### 4.2.3 Evaluación de Escenarios

A partir del cuadro anterior, se evalúa el cultivo de caña de azúcar como insumo en la producción de etanol. En México, la caña de azúcar se utiliza principalmente para la producción de azúcar. El azúcar es utilizado en los hogares para endulzar alimentos. La cantidad destinada al consumo humano en México es de 31 millones de toneladas (FAO, 2006). El consumo de azúcar ha tenido un comportamiento estable, en los últimos quince años se ha mantenido en los 30 millones de toneladas en promedio. En cambio; la producción de la caña de azúcar ha sufrido variaciones, lo anterior, se debe a las distintas

políticas públicas instrumentadas por el Gobierno al sector azucarero. En la siguiente figura se compara la oferta con la demanda de azúcar en el Periodo 1990-2005.

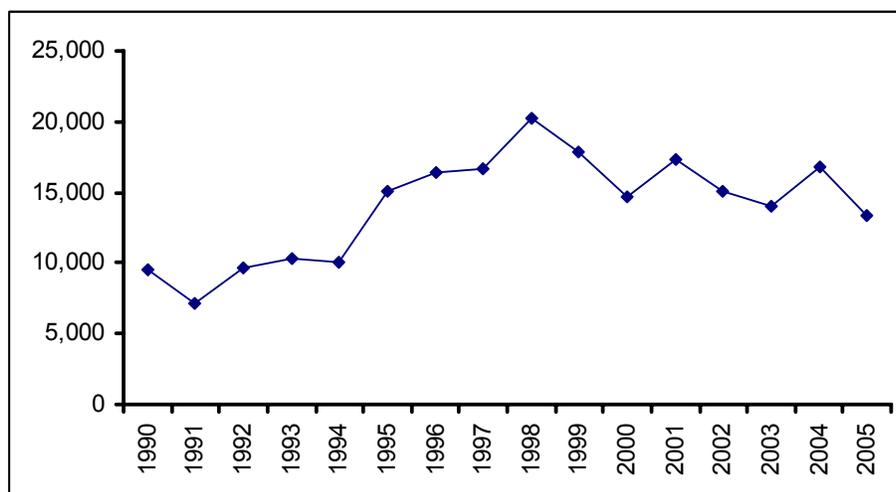
**Figura 4.2. Producción contra Consumo (miles de toneladas)**



Elaboración propia con datos de la FAO, 2007

En la figura anterior se muestra que tenemos excedentes de producción de caña de azúcar. Los excedentes se pueden representar en la siguiente figura, el excedente es el resultado de la diferencia entre la producción y lo que se destina al consumo humano.

**Figura 4.3. Excedentes de caña de azúcar (miles de toneladas)**



Elaboración propia con datos de la FAO, 2007

Ahora bien, el excedente se puede utilizar para producir etanol, para ello calculamos las cantidades necesarias para elaborar las mezclas 5%, 10% y 15% de la gasolina actual destinada al mercado. Lo que nos represente E5 es la cantidad necesaria de etanol para realizar la mezcla E5 y así sucesivamente.

Cuadro 4.23. Consumo de gasolina y cantidad necesaria de etanol para mezclar (5%, 10% y 15%, en millones de litros)

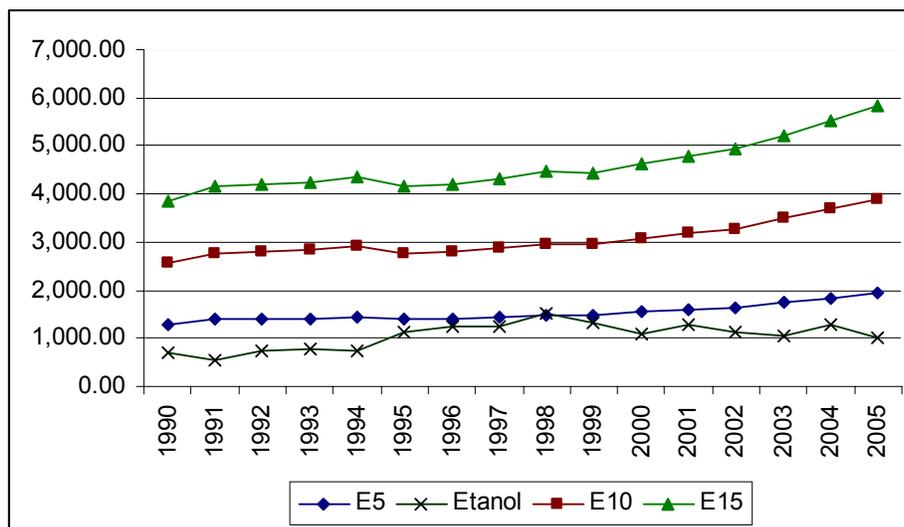
<b>AÑOS</b>	<b>LITROS*</b>	<b>E5</b>	<b>E10</b>	<b>E15</b>
1990	25,699.01	1,284.95	2,569.90	3,854.85
1991	27,709.50	1,385.48	2,770.95	4,156.43
1992	27,928.60	1,396.43	2,792.86	4,189.29
1993	28,369.22	1,418.46	2,836.92	4,255.38
1994	29,076.34	1,453.82	2,907.63	4,361.45
1995	27,784.14	1,389.21	2,778.41	4,167.62
1996	27,890.65	1,394.53	2,789.06	4,183.60
1997	28,887.18	1,444.36	2,888.72	4,333.08
1998	29,694.88	1,484.74	2,969.49	4,454.23
1999	29,655.92	1,482.80	2,965.59	4,448.39
2000	30,839.51	1,541.98	3,083.95	4,625.93
2001	31,952.91	1,597.65	3,195.29	4,792.94
2002	32,801.83	1,640.09	3,280.18	4,920.27
2003	34,846.52	1,742.33	3,484.65	5,226.98
2004	36,911.31	1,845.57	3,691.13	5,536.70
2005	38,965.27	1,948.26	3,896.53	5,844.79

Fuente. Elaboración propia con datos de PEMEX 2008

\*Total de gasolina

Ahora bien, si destinamos los excedentes de la producción de caña de azúcar a la producción de etanol y con un rendimiento promedio de 75 litros por tonelada obtenemos la figura 4.23. En el siguiente gráfico (figura 4.24), podemos observar, que si destinamos los excedentes de la caña de azúcar a la producción de etanol, no alcanzamos a cubrir la demanda que el país necesita en las mezclas E10 y E15. Sin embargo, para la mezcla E5 si es posible cubrir la demanda con los excedentes de la caña de azúcar.

Figura No 4.24. Excedente de la producción de Caña de Azúcar destinado a la Producción de Etanol comparado con el consumo de Gasolina (millones de litros)



Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX

Lo anterior es muy relevante, ya que muestra que de producirse etanol con caña de azúcar, no es necesario reconvertir cultivos, destinar hectáreas nuevas a la producción de cultivos energéticos. Por otro lado, si observamos a detalle, para consolidar la industria del biocombustible es necesario comenzar con los excedentes de la producción de caña de azúcar; para después fortalecer la industria y poder utilizar mayor etanol para mezclar.

En el siguiente cuadro se observa las cantidades necesarias de azúcar fermentable para la obtención de estos combustibles, haciendo el supuesto de eficiencias promedio de 98.5% en la destilación y de 85% en la fermentación.

Cuadro 4.24. Cantidad de azúcar fermentable

Mezcla**	Etanol (anhídrido)*	Destilación*	Fermentación*	Azúcar fermentable (ton)
E5	4.4625	4.5	5.325	8,211.34
E10	8.9625	9.1125	10.725	16,583.68
E15	13.875	14.0625	16.5375	25,600.05

\*Millones de litros

\*\*Datos correspondientes a requerimientos diarios

En México, la obtención de etanol se da mediante la obtención de azúcar. El azúcar por su parte se obtiene de la melaza. En promedio una tonelada de caña contiene 16.2

toneladas de azúcar fermentable. Ahora bien, la caña necesaria para abastecer el combustible es, producción diaria:

Cuadro 4.25. Producción de etanol a partir de melaza

<b>Mezcla**</b>	<b>Azúcar fermentable</b>		
	<b>(ton)</b>	<b>melaza (ton)</b>	<b>caña (ton)</b>
E5	8,211.34	18,247.42	506,872.84
E10	16,583.68	36,852.62	1,023,683.95
E15	25,600.05	56,889.00	1,580,250.00
E46	88,135.02	195,855.50	5,440,433.33
E85	194,334.98	431,855.51	11,995,986.42
E100	247,950.18	551,000.40	15,305,566.67

\*\*Datos correspondientes a requerimientos diarios

De una tonelada de caña se obtiene en promedio 36 Kg de melaza y la melaza tiene 45% de azúcar fermentable.

Por lo que los requerimientos anuales para la melaza, para cumplir con las mezclas son los siguientes:

<b>Mezcla</b>	<b>melaza (ton)</b>
E5	6,660,308.30
E10	13,451,206.30
E15	20,764,485.00

Otra manera de producir etanol es a partir de jugo y bagazo, cuando se usa jugo se obtiene en promedio 80 litros de etanol por tonelada de caña. Cuando se utiliza además bagazo los rendimientos se incrementan hasta un promedio de 135 litros por tonelada de caña.

La producción total de caña requerida por año para cumplir con lo anterior se ve en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.26. Producción requerida de caña

<b>Mezcla</b>	<b>Ton de caña (jugo)</b>	<b>Ton caña (jugo más bagazo)</b>
E5	20,467,984.55	12,129,176.30
E10	41,337,301.20	24,496,179.30
E15	63,811,949.90	37,814,489.10

México en promedio produce 45 (FAO, 2007) millones de toneladas de caña de azúcar al año, de la caña cultivada los ingenios producen lo siguiente:

Cuadro 4.27. Producción de azúcar por estado productor

ESTADO	AZÚCAR PRODUCCI DA (TON)	PARTICIP ACIÓN (%)	TIPOS DE AZÚCAR			MIEL PRODUCIDA 85° BRIX (TON)	PARTICIPAC IÓN (%)	ALCOHOL PRODUCIDO (LTS)	PARTICIPAC IÓN (%)
			REFIN ADO	ESTAN DAR	MASCA BADO				
CAMPECHE	22,475	0.46	10,064	12,411		13,078	0.8	1,595,588	3
COLIMA	94,217	1.93		94,217		37,857	2.4		
CHIAPAS	242,393	4.97	3,299	239,093		81,243	5.2	4,483,954	10
JALISCO	576,700	11.84	151,848	424,852		199,696	12.7	5,420,000	12
MICHOACAN	138,645	2.85		138,645		47,547	3	82,810	
MORELOS	149,454	3.07	149,454			48,763	3.1	1,824,727	4
NAYARIT	197,006	4.04		83,455		66,810	4.2		
OAXACA	280,246	5.75	130,923	149,323		74,438	4.7		
PUEBLA	184,588	3.79		184,588		63,228	4	1,038,471	2
QUINTANA ROO	131,302	2.69			131,302	45,029	2.9		
SINALOA	151,674	3.11	71,303	80,371		68,283	4.3		
SN. LUIS POTOSI	453,537	9.31	200,911	252,626		131,504	8.4		
TABASCO	170,998	3.51	90,239	80,758		61,004	3.9		
TAMAULIPAS	189,168	3.88	189,168			67,040	4.3	8,635,385	18
VERACRUZ	1,889,987	38.79	742,600	1,127,610	19,778	568,228	36.1	23,663,067	51
NACIONAL	4,872,388	100	1,739,809	2,867,950	151,079	1,573,750	100	46,744,002	100

Fuente: COLPOS, 2003

Ahora bien en el siguiente cuadro se muestra las veces que debe ser incrementada la producción de caña para cumplir con los requerimientos de combustible.

	Mezcla	Etanol*	Ton de caña (jugo)	Ton caña (jugo más bagazo)
	E5	4.4625	56,076.67	33,230.62
	E10	8.9625	113,252.88	67,112.82
	E15	13.875	174,827.26	103,601.34

\* Millones de litros

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4 Evaluación de la producción de Etanol con maíz

El rendimiento que se considera es de 110 litros por tonelada de maíz. Recordemos que la producción en México es de 31 millones de toneladas (2007), de los cuales 21 millones es maíz blanco, el resto forrajero.

Los cuadros siguientes muestran los requerimientos diarios y anuales, respectivamente, de producción de etanol para cada una de los procesos de producción de etanol.

Mezcla	Etanol (mill. de litros)	maíz seco (ton)	maíz húmedo (ton)
E5	4.4625	40,783.03	47,222.46

E10	8.9625	82,365.73	95,370.84
E15	13.875	127,147.10	147,222.95

Fuente: Elaboración Propia

<b>Mezcla</b>	<b>maíz seco (ton)</b>	<b>maíz húmedo (ton)</b>
E5	14,885,806.28	17,236,196.75
E10	30,063,491.12	34,810,358.14
E15	46,408,609.17	53,736,378.09

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro siguiente se observa el número de veces que debe de ser aumentada la producción de maíz con respecto a la producción actual para cumplir con la producción de etanol

<b>Mezcla</b>	<b>Maíz Seco</b>	<b>Maíz húmedo</b>
E5	0.73	0.84
E10	1.47	1.7
E15	2.26	2.62

Fuente: Elaboración Propia

Los subproductos que se obtienen del etanol a partir de caña de azúcar es la siguiente:

<b>Mezcla</b>	<b>Energía (millones btu)</b>	<b>etanol (galones)</b>	<b>CO2 (ton)</b>	<b>Vinazas</b>
E5	1,635,501,158	423,612,600	1,543,075	1,428,707,398
E10	3,303,070,967	873,707,800	3,116,405	2,885,428,666
E15	5,098,915,376	1,348,733,400	4,810,762	4,454,205,416

Las vinazas son el producto de desecho después de la etapa de la destilación, éste es un producto altamente contaminante de aguas, por lo que es necesario utilizar un reactor para retirar el material orgánico no biodegradable (como metano) para ser usadas posteriormente para irrigación de suelos.

En cuanto a la **contaminación**; el etanol puede ser aditivo con menos contradicciones ambientales que los aromáticos y olefinicos usados en México para aumentar el octanaje de la gasolina y eliminar parcial o totalmente el plomo. Ello en la medida en que las emisiones son catalogadas por algunos expertos como de menor reactividad fotoquímica. Además de la reducción cuantitativa de las emisiones de hidrocarburos, esta propiedad del alcohol fortalece la posibilidad de que ayude a mitigar las elevadas concentraciones de ozono que caracterizan la atmósfera de las zonas metropolitanas del país.

Al añadir etanol a una gasolina tradicional podemos asegurar que las emisiones de SO y HC disminuyen, ya que al mezclar gasolina con etanol se reducen estos compuestos. Además, el CO se reduce considerablemente, con el etanol se oxigena el combustible.

Sin embargo el óxido, dióxido de nitrógeno se incrementan cuando se mezcla el etanol con la gasolina. También las emisiones de CO” aumentan ya que añadir etanol al combustible la reacción se efectúa más eficientemente. Pero estas no son las emisiones netas del contaminante ya que deben considerarse también las emisiones de CO2 en la producción este combustible y la absorción del CO2 de la materia vegetal que es utilizada.

A continuación se comparan las emisiones netas de CO2

Cuadro 4.28. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando caña de azúcar

<b>utilizando caña de azúcar</b>				
<b>Mezcla</b>	<b>CO2 absorbido</b>	<b>CO2 industrial</b>	<b>CO emisión</b>	<b>balance neto</b>
E5	14,498,155	1,543,075	214,700,215	-201,745,135
E10	29,280,587	3,116,405	222,260,811	-196,096,629
E15	45,200,130	4,810,762	230,373,331	-189,983,963

Cuadro 4.29. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando melaza de caña de azúcar

<b>utilizando caña de azúcar (sólo melazas)</b>				
<b>Mezcla</b>	<b>CO2 absorbido</b>	<b>CO2 industrial</b>	<b>CO emisión</b>	<b>balance neto</b>
E5	131,047,749	1,543,075	214,700,215	-85,195,541
E10	264,664,955	3,116,405	222,260,811	39,287,739
E15	408,560,469	4,810,762	230,373,331	173,376,376

Cuadro 4.30. Balance CO2 cuando se usa biocombustible etano-gasolina usando maíz

<b>maíz por molienda seca</b>				
<b>Mezcla</b>	<b>CO2 absorbido</b>	<b>CO2 industrial</b>	<b>CO emisión</b>	<b>balance neto</b>

E5	11,908,645	1,543,075	214,700,215	-204,334,645
E10	24,050,793	3,116,405	222,260,811	-201,326,423
E15	37,126,952	4,810,762	230,373,331	-198,057,141

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES**

El mercado del etanol es joven en algunos países, sin embargo crece a gran escala, en el periodo 1997-2006 ha crecido en un 40% a nivel global. El País que más conocimiento tiene del biocombustible es Brasil. Sin embargo, países como Estados Unidos de América, China, India, Francia y Rusia están invirtiendo fuertes sumas de recursos para el desarrollo de la industria.

Además, los Gobiernos de los países productores de etanol invierten una fuerte cantidad de recursos para proteger su industria, esto lo hacen mediante subsidios a la producción y a la comercialización, también imponen fuertes aranceles a la importación del biocombustible.

El Gobierno Brasileño comenzó en 1975 el Programa PROALCOOL debido a la crisis petrolera. En los comienzos del Plan, el Gobierno apoyó la iniciativa a través de políticas públicas que incluyeron: subvenciones, fuertes regulaciones; apoyo financiero y controles en toda la cadena de producción y consumo para garantizar la competitividad del etanol frente a la gasolina convencional.

En México existen oportunidades para el desarrollo de una industria de etanol sólida, una de las ventajas son las condiciones geográficas idóneas para el desarrollo de cultivos energéticos, tales como la caña de azúcar, el sorgo dulce, el maíz. Es posible destinar los excedentes de estos cultivos a la producción de biocombustibles, sobre todo ahora que ya se aprobó la Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos.

Con la publicación de la Ley de para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos, México da un gran paso en materia de energía, ya que la Ley pretende producir Biocombustibles de manera sustentable, es decir, producir sin dañar el Medio Ambiente y producir cuidando no distorsionar el mercado de los alimentos; al contrario, la Ley busca favorecer a los productores de insumos para la bioenergía.

México cultiva alrededor de 20 millones de hectáreas y tiene la capacidad para incrementar esta superficie al doble, parte de la producción puede ser destinada a la producción de bioenergéticos tales como el etanol y el biodiesel.

México es el cuarto productor mundial de Maíz, sin embargo sólo produce el 4% de lo que se produce en el mundo, por lo que sus decisiones no alteran de manera significativa el precio internacional cotizado en la Bolsa de Chicago.

El maíz es un cultivo tradicional de México, uno de los centros de origen del cultivo más acertado es Tehuacan Puebla. Por las relevancia del producto obtenido del maíz no es factible utilizar el maíz blanco para la producción de biocombustibles.

El cultivo de caña de azúcar es un cultivo tradicional en las regiones tropicales de México. Nuestro país es uno de los principales productores a nivel mundial, produce el 4% del total de la producción.

La producción de biocombustibles líquidos como el etanol esta llamando la atención tanto de inversionistas privados como del gobierno federal y los gobiernos estatales. Entre las razones se encuentra la de mitigar los efectos del los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, de igual manera el poder estimular el desarrollo rural y dar seguridad e independencia energética. Actualmente, con el presente estudio efectuado mediante el análisis costo beneficio sabemos que la producción de biocombustibles como el etanol es costo efectiva a nivel macroeconómico y nos arroja valor presente positivos en los proyectos de inversión.

Debido a la importancia del modelo energético para México, es necesario buscar un modelo sustentable de alternativas de energía para el país y buscar soluciones a largo plazo que tengan el mayor impacto social. Para poder llegar a este resultado es indispensable no solo aplicar un modelo adecuado para México y para cada región de manera eficiente y sustentable sino también cambiar el comportamiento social y económico con respecto al consumo de energía. Es necesario planificar una infraestructura regional con un modelo donde el uso de energía sea limitado y se fomente el uso de nuevas formas de energía.

México debe de tener una Política de Energía exhaustiva, donde se busque un modelo participativo y sustentable para cada región con nuevas formas de energía como la de los biocombustibles.

El tema de los biocombustibles, cobra relevancia al considerar sus impactos y viabilidad económica. El estudio muestra la viabilidad de plantíos orgánicos y a pequeña escala de diversos cultivos que sean eficientes en cada región para la producción de biocombustibles como el etanol.

El tema de los biocombustibles es un tema de importancia para los economistas y los tomadores de decisiones de políticas públicas, que se debe estudiar a nivel nacional y regional por el sector académico independientemente de los intereses de la industria. Es evidente que el modelo intensivo de agricultura de biocombustibles planteado por Brasil y Estados Unidos es una solución parcialmente sustentable para todos los países de la región. Sin embargo, México tiene que considerar todas las formas de energía que tenga a su alcance y de ahí la importancia de los resultados del estudio de los proyectos de plantas de etanol. Las inversiones de algunos bancos e inversionistas privados, al igual que el interés del gobierno federal están moviendo esta forma de energía a una velocidad de implantación demasiado rápida. Por lo mismo fue necesario establecer leyes y reglamentos, ya que falta mucho por investigar para saber la verdadera viabilidad tanto económica como agraria de los diferentes tipos de biocombustibles como el etanol; así como sus impactos sociales y económicos en las diferentes regiones del país. México tiene un gran potencial para desarrollar una robusta industria de biocombustibles. La nueva Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos en México pretende aprovechar ese potencial por lo que permite a sectores, como el de los ingenios azucareros, producir etanol aprovechando sus excedentes de producción.

Los biocombustibles son una opción de desarrollo para el sector agrícola ya que con el uso de biocombustibles se incrementará la demanda de productos, tales como maíz y caña de azúcar y otros lo que resultará favorable para los agricultores.

El estudio demuestra que, el desarrollo de la industria del etanol es insuficiente en México, esto se puede deber a distintos factores económicos-sociales, como lo son: tecnología no apta para el desarrollo de la industria, altos costos de la tecnología para producir etanol,

falta de planeación, insuficiencia de recursos, inexistencia de un marco legal. Además, los sectores agrícola y energético necesitan fuertes cambios que lo lleven a producir los insumos que la industria del etanol requiere, sobre todo en el caso de los cultivos de maíz y caña de azúcar.

Además, la producción de etanol en México esta en desarrollo, se necesita una fuerte inversión en infraestructura, en tecnologías y todo esto, respaldado por un sector agrícola fuerte.

Los factores que influyen en la producción de los biocombustibles son los siguientes:

- *Geográficos*: Localización y extensión de las áreas cultivables, así como los aspectos meteorológicos.
- *Agronómicos*: Condiciones agrícolas de cada país, respecto a suelo, semilla, fertilidad, cultivo, rendimientos

En México se cultivan 20 millones de hectáreas de las cuales 35% se cultivan con maíz, además 3.31% se cultiva con caña de azúcar, este último cultivo es muy productivo (70 Ton/ha)

- *Tecnológicos*: Infraestructura (destilerías, tecnología agrícola)

Actualmente operan 60 ingenios, de los cuales 17 cuentan con una destilería, hay potencial para producir 206 millones de litros por año. Sin embargo, esto no es suficiente, hace falta recursos económicos, humanos y tecnológicos de tal manera que México logre ser competitivo en la industria

- *Legales*: La existencia de un marco legal que incentive la producción y comercialización de los biocombustibles.

Con la aprobación de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en febrero de 2008 se sientan las bases para el impulso a la industria del etanol.

En el capítulo Mercado del Etanol, se analiza la forma en que los distintos países inician en la producción de etanol, y se observa como la oferta del biocombustible va en asenso principalmente en los países de Estados Unidos, Brasil y China. Anudo a lo anterior, también la demanda se incrementa año con año. Una vez descritas la oferta y la demanda se concluye un mercado pujante, con precios que se incrementan.

Los principales insumos que se pueden destinar para la producción de etanol son:

1. Maíz
2. Caña de azúcar

El maíz es un elemento fundamental en la dieta de El cultivo de maíz tiene dos usos principales: a) Como alimento de miles de mexicanos y b) Como parte de la dieta de los animales (ovinos, porcinos, aves, etc.)

El Estado establecerá las medidas para procurar el abasto de alimentos y productos básicos a la población, promoviendo su acceso a los grupos sociales menos favorecidos y dando prioridad a la producción nacional.

Está claro que para los biocombustibles, la relación costo-beneficio varía dramáticamente dependiendo de la ubicación geográfica. En lugar de condenar a los biocombustibles de manera generalizada, la comunidad internacional debería enfocarse en encontrar maneras complementarias y productivas de explotar esas diferencias.

La política de bioenergéticos, incluye una política de tecnificación del agro mexicano, así como fuertes apoyos en la investigación enfocado a los insumos para el etanol, México tiene un "gran potencial" para desarrollar una "robusta industria de biocombustibles".



## **BIBLIOGRAFÍA**

ASERCA (2003). Mercado Internacional de Maíz. Dirección de Análisis y Estudios de Mercado. 18 páginas.

ASERCA, (2006), “Etanol: un elemento reciente en la dinámica económica mundial”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p. 9-21

ASERCA, (2006), “Los biocombustibles ¿La fuente de energía de siglo XXI?”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p.22-26

ASERCA, (2006), “Las interrogantes de los biocombustibles”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p. 27-28

ASERCA, (2007), “La sed de petróleo en el mundo”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p. 35

Baca U. G. (2007). Evaluación de Proyectos. Análisis y Administración del Riesgo. Editorial Mc-Graw-Hill. Cuarta Edición, 373 p.

Biblioteca Virtual de Economía, puede consultarse en:  
<http://www.eumed.net/libros/2006a/mga-des/1c.htm>

Blaug, M, (1988). Teoría Económica en Retrospección, Fondo de Cultura Económica, 865 páginas.

Cámara de Diputados (2002). La Industria Alcohólica en México ante la Apertura Comercial. Centro de Estudios de Finanzas Públicas. 18 páginas.

Cámara de Diputados (2007). México: El mercado del maíz y la Agroindustria de la Torquilla. Centro de Estudios de Finanzas Públicas. 20 páginas.

Cámara de Diputados LX legislatura, (2008). Datos e informes. Pueden consultarse en [www.diputados.gob.mx](http://www.diputados.gob.mx)

Cámara Nacional de las Industrias Azucareras y Alcohólicas (2008), Datos e informes. Pueden consultarse en <http://www.camaraazucarera.org.mx/>

Cámara Nacional del Maíz Industrializado (2008). Datos e informes. Pueden consultarse en <http://www.cnmaiz.org.mx/industria/>

Carless, J, (1995), Energía renovable guía de alternativas ecológicas, 256 p.

Carrión P.,F. y Servín J., F. (1992). Un Estudio sobre Análisis de Proyectos (ANPRO) utilizando el lenguaje de la programación C. DICEA-UACH. Tesis Profesional. Chapingo, México.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2006). Maíz soberanía y Seguridad Alimentaria. Año 02, No. 04. Mayo/Agosto. p.p 72-80.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2006). Escenarios de Mercados Mundiales de Energías y Alimentos. Año 02, No. 05. Noviembre-Diciembre. p.p 76-93.

Collins, Keith (2006), "Industria Alimentaria vs Biocombustibles", Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p. 3-8.

Cunningham, E. R. y López G.D. (1994). Etanol de linocelulósicos: Tecnología y perspectivas. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Cytel. Universidad de Santiago Compostela. España.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2006), Datos e informes. Pueden consultarse en: <http://www.usda.gov/>

Díaz-Bautista, Alejandro (2000), "Análisis del manejo de la demanda y la desregulación de energía eléctrica en México". En Cuadernos de Trabajo del Departamento de Estudios Económicos del Colegio de la Frontera Norte, número 13, agosto del 2000.

Díaz-Bautista, Alejandro (2000), "The Mexican power industry: Open access, network, competition and market integration". En Cuadernos de Trabajo del Departamento de Estudios Económicos del Colegio de la Frontera Norte, número 14, agosto del 2000.

Díaz-Bautista, Alejandro (2001), "The Natural Gas and LNG Sector in Mexico". En Cuadernos de Trabajo del Departamento de Estudios Económicos del Colegio de la Frontera Norte, número 33, agosto del 2001.

Díaz-Bautista, Alejandro (2001), "Energy Policy and Border Growth: Transnational Bioregions Policy Challenges in Western North America" En Cuadernos de Trabajo del Departamento de Estudios Economicos del Colegio de la Frontera Norte, numero 47, diciembre del 2001.

Díaz-Bautista, Alejandro (2002), "Diagnostico Integral de la Frontera Norte, Apartado de Energía", El Colegio de la Frontera Norte y Presidencia de la Republica de México. Disponible en CD.

Díaz-Bautista, A. (2005), "Experiencias internacionales en la desregulación eléctrica y el sector eléctrico en México", Colef/Plaza y Valdés, 2005, 258 paginas.

Díaz Bautista, Alejandro (2007) "La Necesidad de una Reforma Estructural y una Política Energética Integral en México para el Desarrollo del País", en Observatorio de la Economía Latinoamericana, N° 87.

Díaz-Bautista, A. (2007), "Un Análisis Económico Regulatorio de la Reforma Energética en México", Conferencia y presentación para el Foro de la Frontera Norte 2007. Transmitido por videoconferencia desde el auditorio Guillermina Valdéz-Villalba de El Colef en San Antonio del Mar, Baja California, junio de 2007.

Díaz-Bautista, A. (2008), “2ª Conferencia y Análisis sobre el Petróleo en México”, Conferencia y presentación para la Universidad Autónoma de Baja California. Tijuana Baja California, mayo de 2008.

Domínguez C.P. (2008), “2ª Conferencia y Análisis sobre el Petróleo en México”, Conferencia y presentación para la Universidad Autónoma de Baja California. Tijuana Baja California, mayo de 2008.

Domínguez C.P. (2008), “Un análisis Costo-Beneficio del Etanol en México”, Conferencia y presentación para la Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. de mayo 2008.

Domínguez C. P., Sandoval, F. C. (2006) Memoria Legislativa 2003-2006. Comisión de Agricultura y Ganadería. Cámara de Diputados LIX Legislatura. 619 páginas

Donald M. (2007). Perspectivas sobre Biocombustibles y su Impacto en los Mercados Mundiales de Commodities. Foro: Bioeconomía: Moda, mito y realidad. Ciudad de México, D.F.

Enríquez, M.P. (2005). Producción de etanol anhidro en ingenios azucareros. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). 5 páginas

FAO (2006), “El uso de la bioenergía recibe un nuevo impulso”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p. 52.

FAO (2006), “La FAO apuesta al paso a la bioenergía”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p. 53-54.

FAO (2006), “Bioenergía”, Claridades Agropecuarias, No. 159, p.p. 55-57.

FAO (2008) Datos e informes. Pueden consultarse en [www.fao.org](http://www.fao.org).

Ford C, S, B, (2007), Cómo los biocombustibles pueden matar de hambre a los pobres, Journal Foreign Affairs En Español, 10 páginas.

Galván Sanchez, Maria Antonia / Escamilla Lara, Enrique. Guía para la formulación y evaluación de proyectos de inversión. Nacional Financiera – Organización de los Estados Americanos (OEA). Pp. 101.

Galinat, W.C. (1988). The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. Corn and corn improvement, p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Gittinger, J., P (2001). Análisis Económico de Proyectos Agrícolas. Editorial TECNO, S. A. cuarta edición, 383 p.

González, U. A. (1995). El maíz y su conservación. Editorial Trillas, 399 páginas.

Gramlich, E. M. (1997). A Guide to Benefit-Cost Analysis. Waveland Press. 246 páginas.

Guerra, L.M. (1989). Impactos Ecológicos y Económicos del Cambio de Combustible en México. Fundación Friedrich Ebert. 163 páginas.

Hanley N. y Spash C. (1993). Cost-Benefit Analysis and the Environment. Edward Elgar Publishing, Inc.

Harberger, A.C. and Jenkins G.P. (2002). Cost-Benefit Analysis for Investment Decisions. Queen's University 76 pages.

Layard, R. (1978). Análisis Costo-Beneficio. Fondo de Cultura Económica 478 páginas

Ley de Desarrollo Rural Sustentable, publicada el 7 de diciembre de 2001, última reforma 2 de febrero de 2007.

Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, publicada el 1 de febrero de 2008.

López, C.H. (1986). Glosario de términos técnicos para la industria sucroalcoholera. Instituto de Azúcar y de Alcohol (IAA)-Planalsucar. Brasil

Mangelsdorf, P.C. and Reeves, R.G. (1939). The origin of Indian corn and its relatives. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. 574, p. 1-315.

Masera, O.C. (2006). Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México. Secretaría de Energía. 600 páginas.

Medina M., V. (1997). Análisis de las importaciones de maíz a México en el contexto de un mercado abierto, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. 97 páginas.

Menger, C. (1976). Principes of Economics. Ludwig von Mises Institute. Pp 328

Muñante P. (2004). Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión. Apuntes del Curso. Ed. UACH. México.

Petróleos Mexicanos (2006), Datos e informes. Pueden consultarse en: <http://www.pemex.com/>

Reyes C. P. (1990). El Maíz y su cultivo. Primera edición. AGT editor S.A. México 460 páginas.

Rodríguez, G.L. (2003). Modelo para el análisis del Mercado de Etanol en España para el grupo Rode-Bentley. Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). 58 páginas.

Roll, E. 1987. Historia de las Doctrinas Económicas, Fondo de Cultura Económica, 613 páginas.

Sagarpa (2007), “ Aplicaciones de la SAGARPA en Bioeconomía”.

Sagarpa (2008). Datos e informes. Pueden consultarse en [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)

Schmid, A.A. (1989). *Benedit-Cost Analysis: a Political Economy Approach*. Boulder, Colorado. 354 pages.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2007), Datos e informes. Pueden consultarse en: <http://www.sagarpa.gob.mx/>

Secretaría de Energía (2007), Datos e Informes. Pueden consultarse en: <http://www.energia.gob.mx/>

SENER, (2006), Balance nacional de energía 2005. 124 p.

SENER, (2006), Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodisel para el transporte en México, 600 p.

SENER (2006), Programa sectorial de energía 2001-2006, 162 p.

SENER (2006), Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México, 91 p.

SECRETARIA DE PRODUCCIÓN DE AGROENERGÍA (2007), Balance nacional de caña de azúcar y agroenergía 2007, p 140

Stiglitz, J. E., (2002). *La economía del Sector Público*. Antoni Bosch Editor. 738 páginas

Torres F.R. y Gómez E.M. (2006), *Energías Renovables para el desarrollo Sustentable de México 2006*, Secretaría de Energía, pp. 91

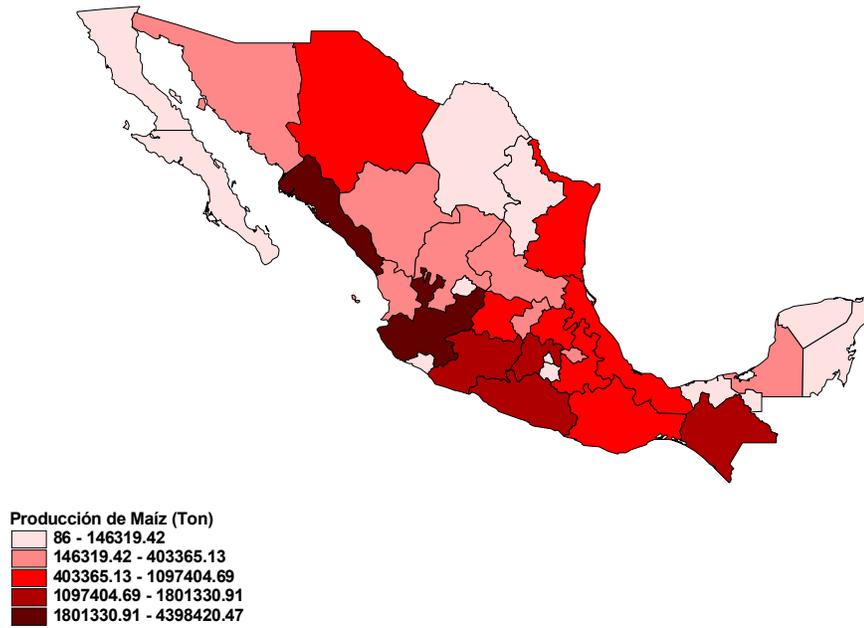
Varian, H. R., (1999). *Microeconomía intermedia: Un enfoque actual*, Antoni Bosch Editor, 726 páginas

Venegas, J.C. (1999). *Etanol de Caña en México, posibilidades de uso como combustible*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, pp. 135.

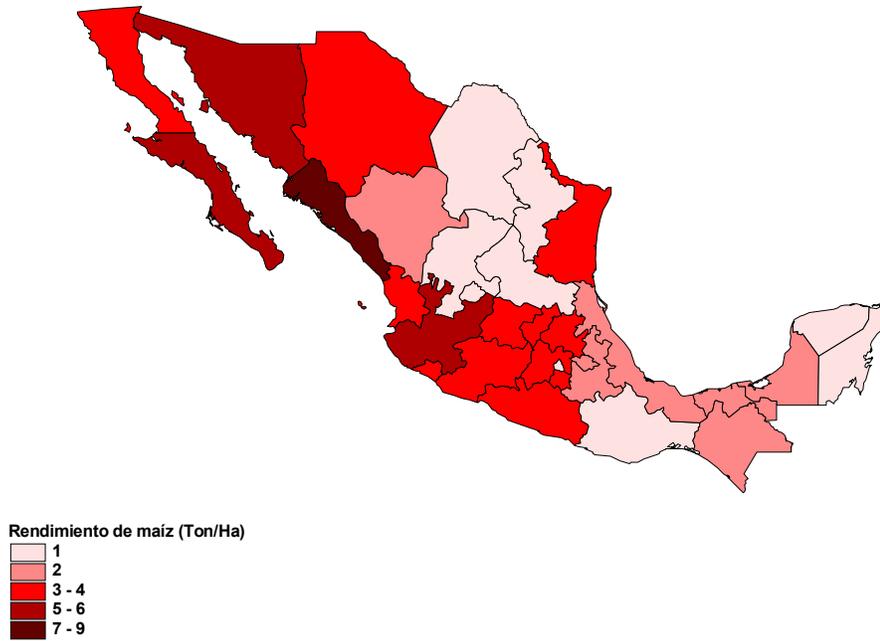
Villegas, A.C. (2001). *Evaluación del proyecto para la producción de etanol en México*. Tesina Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). 73 páginas.

## ANEXOS

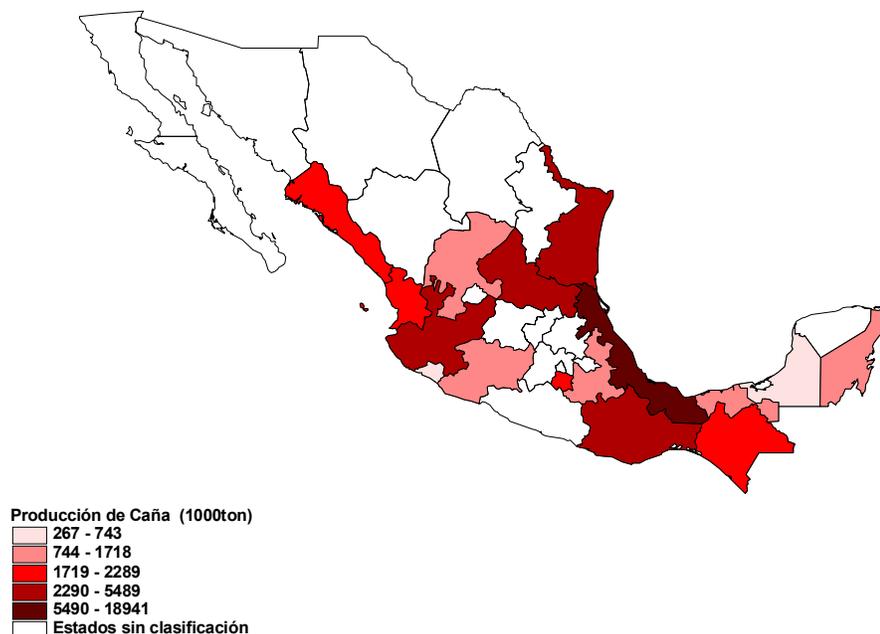
### *ANEXO 1. Estados con mayor producción de Maíz*



*ANEXO 2. Estados con un mayor rendimiento de tonelada por hectárea de maíz*



### ANEXO 3. Entidades Federativas productoras de caña de azúcar



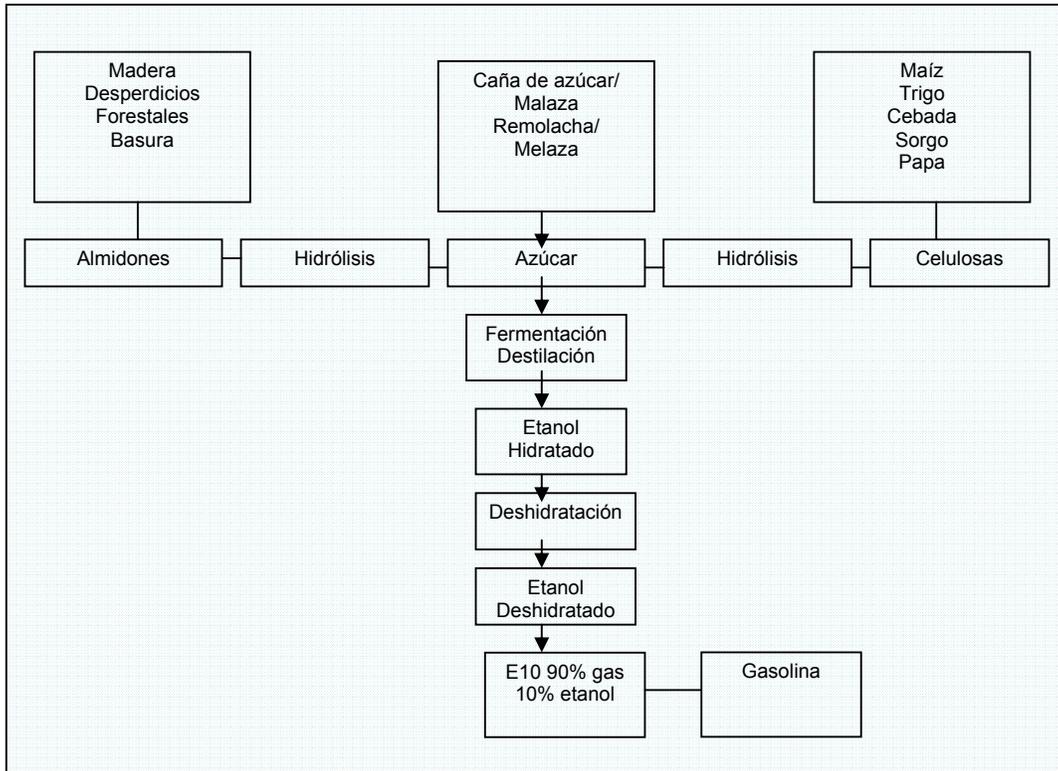
### ANEXO 4. Ingenios a Nivel Regional en México.

Ingenios por Región en México				
NOMBRE DEL INGENIO	CONSORCIO	LOCALIDAD	MUNICIPIO	ESTADO
LA JOYA S.A. DE C.V.	FEESA	CHAMPOTON	CHAMPOTON	CAMPECHE
QUESERÍA S.A. DE C.V.	BETA SAN MIGUEL	QUESERÍA	QUESERÍA	COLIMA
CÍA AZUCARERA LA FÉ S.A. DE C.V	ZUCARMEX	SAN FRANCISCO PUJILTIPIIC	VENUSTIANO CARRANZA	CHIAPAS
BELISARIO DOMÍNGUEZ (HUIXTLA) S.A. DE C.V	PORRES	EL ARENAL	HUIXTLA	CHIAPAS
JOSÉ MA. MARTÍNEZ S.A.	GPO.AZUC.M ÉX	TALA	TALA	JALISCO
MELCHOR OCAMPO S.A.	ZUCARMEX	ZACAPALA	AUTÁN	JALISCO
TAMAZULA S.A. DE C.V	SAENZ	TAMAZULA	TAMAZULA	JALISCO
CÍA AZUCARERA INGENIO BELLAVISTA S.A. DE C.V	SANTOS	BELLAVISTA	ACATLÁN	JALISCO
JOSÉ MA. MORELOS S.A. DE C.V	FEESA	CASIMIRO CASTILLO	CASIMIRO CASTILLO	JALISCO
SAN FRANCISCO AMECA S.A. DE C.V	BETA SAN MIGUEL	AMECA	AMECA	JALISCO
SANTA CLARA S.A. DE C.V	PORRES	TOCUMBO	TOCUMBO	MICHOACAN
PEDERNALES S.A. DE C.V.	SANTOS	PEDERNALES	PEDERNALES	MICHOACAN
LAZARO CÁRDENAS S.A. DE C.V.	GPO.AZUC.M ÉX	TARETÁN	TARETÁN	MICHOACAN
EMILIANO ZAPATA S.A. DE C.V.	FEES	ZACATEPEC	ZACATEPEC	MORELOS
CASASANO LA ABEJA S.A. DE C.V.	FEESA	CUAUTLA	CUAUTLA	MORELOS

PUGA S.A.	AGA	TEPIC	TEPIC	NAYARIT
EL MOLINO S.A. DE C.V.	MENCHACA	TEPIC	TEPIC	NAYARIT
ADOLFO LÓPEZ MATEOS S.A. DE C.V.	PIASA	VERACRUZ	VERACRUZ	OAXACA
LA MARGARITA S.A. DE C.V.	MACHADO I	ACATLÁN DE PÉREZ FIGUEROA	ACATLÁN DE PÉREZ FIGUEROA	OAXACA
EL REFUGIO S.A. DE C.V.	MACHADO II	COSOLAPA	COSOLAPA	OAXACA
CALIPAM S.A. DE C.V.	GARCÍA GONZÁLEZ	CALIPAM	CALIPAM	PUEBLA
ATENCINGO	FEESA	ATENCINGO	ATENCINGO	PUEBLA
SAN RAFAEL PUCTE S.A. DE C.V.	BETA SAN MIGUEL	JAVIER ROJO GÓMEZ	CHETUMAL	QUINTANA RRO
PLAN DE AYALA S.A. DE C.V.	SANTOS	CD. VALLES	CD. VALLES	SAN LUIS POTOSÍ
SAN MIGUEL DEL NARANJO S.A. DE C.V.	BETA SAN MIGUEL	EL NARANJO	EL NARANJO	SAN LUIS POTOSÍ
ALIANZA POPULAR S.A. DE C.V.	SANTOS	TAMBACA	CD. VALLES	SAN LUIS POTOSÍ
PLAN DE SAN LUIS S.A. DE C.V.	FEESA	CD. VALLES	CD. VALLES	SAN LUIS POTOSÍ
PROZUCAR S.A. DE C.V.	ZUCARMEX	NAVOLATO	NAVOLATO	SINALOA
ELDORADO S.A.	GPO.AZUC.M ÉX	ELDORADO	CULIACAN	SINALOA
CÍA AZUCARERA DE LOS MOCHIS S.A.	AGA	LOS MOCHIS	LOS MOCHIS	SINALOA
AZUCARERA DE LA CHONTALPA S.A. DE C.V.	FEESA	CÁRDENAS	CÁRDENAS	TABASCO
PRESIDENTE BENITO JUAREZ S.A. DE C.V.	GPO.AZUC.M ÉX	POBLADO 27	CÁRDENAS	TABASCO
AZSUREMEX	JIMENEZ SAINZ	TENOSIQUE DE PINO SUAREZ	TENOSIQUE DE PINO SUAREZ	TABASCO
EL MANTE	SAENZ	MANTE	MANTE	TAMAULIPAS
CÍA AZUCARERA DEL RÍO GUAYELEJO S.A. DE C.V.	SAENZ	XICOTENCATL	XICOTENCATL	TAMAULIPAS
VERACRUZ S.A. DE C.V.	SANTOS	CUATOTOLAPAM	HUEYAPAN DE OCAMPO	VERACRUZ
NUEVO SAN FRANCISCO (EL NARANJAL) S.A. DE C.V.	GARCÍA GONZÁLEZ	LERDO DE TEJADA	LERDO DE TEJADA	VERACRUZ
SAN GABRIEL S.A DE C.V.	SANTOS	SAN GABRIEL	COSAMALOAPAN	VERACRUZ
LA GLORIA S.A.	SEOANE	LA GLORIA	URSULO GALVAN	VERACRUZ
EL HIGO S.A DE C.V.	ZUCARMEX	EL HIGO	VERACRUZ	VERACRUZ
AZUCARERO DEL GOLFO S.A DE C.V.	MACHADO I	PÁNUCO	PÁNUCO	VERACRUZ
SAN MIGUELITO S.A.	FEESA	CÓRDOBA	CÓRDOBA	VERACRUZ
EL POTRERO S.A.	FEESA	ATOYAC	ATOYAC	VERACRUZ
CONSTANCIA S.A. DE C.V.	BETA SAN MIGUEL	TEZONAPA	TEZONAPA	VERACRUZ
CÍA INDUSTRIAL AZUCARERA SAN PEDRO S.A. DE C.V.	FEESA	LERDO DE TEJADA	LERDO DE TEJADA	VERACRUZ
IMPULSORA DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN S.A DE C.V.	FEESA	CARLOS CARRILLO A	CARLOS CARRILLO A	VERACRUZ
CÍA AZUCARERA LA CONSEPCIÓN S.A DE C.V.	RAFAEL ROSS	LA CONSEPCIÓN	JILOTEPEC	VERACRUZ
EL CARMEN S.A DE C.V.	GARCÍA GONZÁLEZ	CUAUTLALPAN	CUAUTLALPAN	VERACRUZ
TRES VALLES S.A DE C.V.	PIASA	TRES VALLES	TRES VALLES	VERACRUZ
SAN JOSÉ DE ABAJO S.A DE C.V.	PERNO	CUITLÁHUAC	CUITLÁHUAC	VERACRUZ
LA PROVIDENCIA S.A DE C.V.	FEESA	CUICHAPA	PROVIDENCIA	VERACRUZ
EL MODELO S.A	FEESA	CARDEL	CARDEL	VERACRUZ
CENTRAL PROGRESO	MACHADO I	PASO DEL MACHO	PASO DEL MACHO	VERACRUZ
SAN NICOLAS S.A DE C.V.	MERIKANSKY	CUICHAPA	CUICHAPA	VERACRUZ

CENTRAL MOTZORONGO S.A DE C.V.	MACHADO II	MOTZORONGO	TEZONAPA	VERACRUZ
CÍA AZUCARERA INDEPENDENCIA S.A DE C.V.	SEOANE	MARTÍNEZ DE LA TORRE	MARTÍNEZ DE LA TORRE	VERACRUZ

*ANEXO 5. Diagrama de proceso de Producción de Etanol.*



***ANEXO 6. Principales consideraciones del análisis Costo Beneficio***

<b>Estado</b>	<b>Consideraciones</b>
Descripción del proyecto	Determinación de los recursos asignados.
Identificación del impactos	Cuales se cree o se sabe causan mayor beneficio y costo a la sociedad.
Relevancia	Maximizar el beneficio por medio del incremento del valor de la función de utilidad. Aproximación teórica.
Cuantificación física	Métodos de valoración tradicional. Indicadores y datos.
Valoración monetaria	Generar medidas comunes (en pesos) para predecir precios.
Descontar flujos de beneficios y costos	Actualizar los valores futuros. Prueba del valor presente neto
Análisis de sensibilidad	Simulación de escenarios alternativos.
Fuente: Hanley N. y Spash C. (1993). Cost-Benefit Analysis and the Environment. Edward Elgar Publishing, Inc.	



---

Valor Actual de los Costos	\$451.16
<b>VAN</b>	\$143.17
<b>Relación Beneficio Costo</b>	1.31734425

---

*\* La tasa de interés es del 7%, debido a que es el promedio de la tasa de interés interbancaria real mensual de (2002-2008)*

*\*\* La tasa de interés real más 4 puntos porcentuales arriba.*

---

