

2010

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Evaluación Técnica y Económica de producción de Biodiesel, Caso: Demanda del Sector Transporte Público Mexicali, B.C.

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería

Carlos Alberto Peñuelas Núñez
Director:
Jesús Francisco Sosa Gordillo
Codirector:
Gisela Montero Alpérez

Mexicali, B. C., Diciembre 2010



Agradecimientos

Este proyecto de tesis de investigación, si bien ha requerido de esfuerzo y dedicación por parte del autor y sus directores de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin su cooperación desinteresada.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi desarrollo profesional y humano.

Además se agradece el apoyo económico por parte de CONACYT en la beca otorgada para la realización de la Maestría en Ingeniería.

Al grupo de biocombustibles del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California por su espíritu de equipo y colaboración.



INDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
JUSTIFICACIÓN	9
ANTECEDENTES	12
PROBLEMÁTICA.....	14
OBJETIVOS	15
<i>General</i>	<i>15</i>
<i>Específicos.....</i>	<i>16</i>
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	16
METODOLOGÍA	17
PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL	18
TENDENCIAS DE LOS BIOENERGÉTICOS.....	19
MARCO JURÍDICO.....	23
LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIOENERGÉTICOS	23
CONGRUENCIA DEL PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE MEXICALI 2008-2010, EN MATERIA DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	25
BIODIESEL	28
PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL	30
<i>Catálisis Alcalina.....</i>	<i>32</i>
<i>Catálisis Ácida</i>	<i>33</i>
CONDICIONES Y RENDIMIENTOS	33
ANÁLISIS COMPARATIVO DE BIODIESEL Y DIESEL	34
MATERIA PRIMA POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	35
GRASAS ANIMALES.....	35
SEMILLA DE ALGODÓN.....	37
ACEITES VEGETALES RESIDUALES	37
SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	39
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO EN MEXICALI	40
INVENTARIO DE UNIDADES.....	41



CONSUMO DE DIESEL.....	42
DIESEL Y BIODIESEL (B20) EN EL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO	44
IMPACTO AMBIENTAL	45
EMISIONES DE CO ₂ , SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO	45
ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	50
Otros contaminantes (HCT, CO, NOx, PM ₁₀).....	50
REDUCCIÓN DE EMISIONES POR EL USO DE BIODIESEL EN EL SECTOR TRANSPORTE PÚBLICO ..	51
IMPACTO EN LA SALUD	54
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA-FINANCIERA	56
EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	57
Objetivo estratégico	59
Modelo de evaluación	61
Demanda anual.....	63
Proyección de la oferta	63
NECESIDADES FINANCIERAS	64
RESUMEN DE LA INVERSIÓN Y CAPITAL DE TRABAJO	65
CORRIDA FINANCIERA.....	66
EGRESOS.....	66
COSTO DEL BIODIESEL.....	68
INGRESOS	69
AMORTIZACIÓN	70
RESULTADOS FINANCIEROS.....	70
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	72
Riesgo:.....	72
RESULTADOS	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS.....	77



FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la ciudad de Mexicali.....	9
Figura 2. Reacción de transesterificación.....	29
Figura 3. Proporciones aproximadas de la reacción para obtener biodiesel	29
Figura 4. Esquema simplificado para producción de biodiesel	32
Figura 5. Imagen satelital para la determinación de distancias de rutas	42
Figura 6. Acciones y efectos para lograr buena calidad del aire	46
Figura 7. Ciclo neutro de CO ₂ biodiesel	47
Figura 8. Proporción de emisiones del STP	53
Figura 9. Modelo de evaluación.....	61
Figura 10. Producción de biodiesel y glicerina basada en el comportamiento de la demanda de diesel en mexicali	64
Figura 11. Evolución del costo por litro de biodiesel para el horizonte de 5 años	68
Figura 12. Flujo de efectivo y tiempo de recuperación	70

TABLAS

Tabla 1. Resumen de indicadores para obtención de biodiesel	34
Tabla 2. Producción de ganado bovino en Baja California periodo 2002-2006	36
Tabla 3. Número de unidades del STP motor diesel circulando en mexicali	41
Tabla 4. Indicadores de la estimación de consumo de diesel del smtp en mexicali	43
Tabla 5. Comparativo energético diesel vs biodiesel (B20)	44
Tabla 6. Emisiones por contaminante (g/km) de autobuses base diesel	50
Tabla 7. Emisiones de GEI por concesionaria.....	51
Tabla 8. Porcentajes de cambio con el uso de B20, B100 en autobuses	52
Tabla 9. Escenario de emisiones contaminantes por concesionaria con el uso de B20 y B100.....	52
Tabla 10. Estimación de metas en términos de producción, litros de biodiesel	64
Tabla 11. Inversión total y sus diferentes conceptos	65
Tabla 12. Inversión total y capital de trabajo requerido en el 1er. Año de operación	67
Tabla 13. Tabla de ingreso y/beneficios anuales.....	69
Tabla 14. Indicadores de rentabilidad.....	71



SIGLAS

SMTP	Sistema Municipal de Transporte Público de Mexicali
AVR	Aceites Vegetales Residuales
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación de México
SENER	Secretaría de Energía
KRU	Kilómetros Recorridos por Unidad
PEMEX	Petróleos de México
PDM	Plan de Desarrollo Municipal de Mexicali
ASTM	American Society Testing Materials
GEI	Gases de Efecto Invernadero
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
TIR	Tasa Interna de Retorno
B/C	Beneficio-costo
TR	Tiempo de Recuperación
PCN	Poder calorífico neto
ARPCC	Análisis de Riesgos en Puntos Críticos de Control
TIF	Tipo Inspección Federal
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PNCC	Programa Nacional de Cambios Climáticos
INE	Instituto Nacional de Ecología
ATUSA	Autotransportes Urbanos S.A. de C.V.
STP	Sector Transporte Público



Resumen

Mexicali una población de 926 042 habitantes (CONAPO, 2009), cuyo crecimiento ha sido considerablemente impactado por la industria maquiladora. Se estima que las emisiones totales crecerán de 70,000 toneladas anuales en el 2005 a 200,000 toneladas en el 2025 (UABC, 2006). En este contexto, se efectuó una evaluación técnica y económica de producción de biodiesel, para satisfacer la demanda del sector transporte público en Mexicali con un estimado de 7.17 millones de litros anuales que representa 1.5 millones de litros para una mezcla de B20 (biodiesel 20%, diesel 80%). Para establecer parámetros que indiquen el comportamiento del sector, se consideraron número de unidades diesel, rutas, kilometraje-recorrido/unidad, contaminantes emitidos por el sector transporte, consumo promedio diesel/unidad (SMTP, 2009). Las materias primas consideradas son: la semilla de algodón, los aceites vegetales y grasas residuales generados en los restaurantes de Mexicali y los residuos de grasas animales provenientes de los rastros ubicados. Los procesos de obtención corresponden a tecnologías probadas. En base a lo anterior, esta evaluación representa una opción para evaluar la viabilidad de obtención de biodiesel en la región noroeste y el sector transporte representa una oportunidad de aplicación de esta tecnología potencialmente sustentable y que se configura como una alternativa técnica y económicamente factible.



Introducción

En la actualidad, el cambio climático se considera ya como un fenómeno real que acarrea serias consecuencias para la sociedad y en general, para la vida humana. Con base en este contexto se trabaja sobre el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan abatir el creciente fenómeno. (IPPC, 2007)

Durante los últimos años, debido al incremento del costo de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, se está asistiendo a un renacer de las energías renovables.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar de forma autogestionada (ya que se pueden aprovechar en el mismo lugar en que se producen). Además tienen la ventaja adicional de complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas (Solís, Decerega, 2007)

El presente documento abre un nuevo camino en busca de la implementación de tecnología del biodiesel en la ciudad de Mexicali con la intención de evaluar la alternativa de sustentabilidad en el sector transporte público.

Justificación

La ciudad de Mexicali se localiza en la frontera con Estados Unidos a los 32° 39' de latitud norte y 115° 28' de longitud oeste, y cuenta con una extensión de 20 633.52 hectáreas (XVIII Ayuntamiento de Mexicali-IMIP, 2006). Limita al norte con Estados Unidos de América y en la periferia con áreas agrícolas (figura 1).

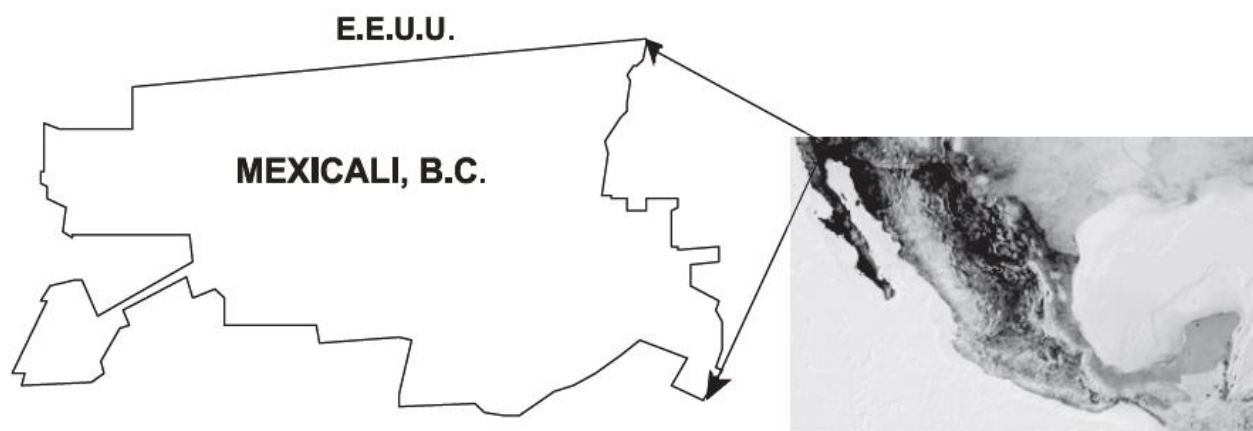


Figura 1. Ubicación de la ciudad de Mexicali.

Mexicali tiene la oportunidad de liderar el mercado regional al contar con mejores ventajas respecto a otras entidades del país, el aprovechamiento de las materias primas disponibles que impactaría de manera positiva, las condiciones geoeconómicas, la disponibilidad de tierra, agua y los insumos principales para la producción de biodiesel, además se cuenta con los institutos de investigación, entre otros factores, como la existencia de un mercado potencial de biodiesel proveniente de los automotores a diesel



urbanos, agropecuarios, marinos y de los motores fijos utilizados en el bombeo de los pozos.

En este sentido (Sosapavón, 1989) advierte que de no diversificar las fuentes de energía y mantener una estructura energética dependiente de los combustibles derivados del petróleo, se correrá el riesgo de la deformación estructural que puede traer graves consecuencias en los próximos años, cuando empiece a agotarse el petróleo. Es preciso seguir investigando e invertir para alejarse de la dependencia de los combustibles derivados del petróleo, por lo que es necesario tener una visión estratégica de cambio tecnológico.

Aunado a lo anterior (Quintanilla and Fischer, 2003) mencionan que el mejor instrumento para aplicar las políticas de sustentabilidad ambiental es el fortalecimiento de las fuentes renovables de energía de la región para reemplazar la quema de hidrocarburos pesados. No obstante, hay que tener cuidado con la estructura de un mercado destinado para productores y usuarios de fuentes alternas de energía, porque cualquier intento de forzar su utilización fuera de su momento y lugar, podría ser ineficiente y solamente incrementaría los costos involucrados.

Según reportes por parte del Instituto Nacional de Ecología y PDM (2008-2010) mencionan que el alto índice de vehículos en la ciudad es causa del 50% de la



contaminación del aire en la zona fronteriza. Bajo esta premisa, se presume que de manera lenta y gradual ha colaborado en la posibilidad de que los GEI sean los causantes del incremento de la temperatura en la atmósfera terrestre a nivel mundial.

Considerando las premisas anteriores, es necesario tomar medidas que mitiguen el impacto ambiental, la evaluación y análisis de dichos impactos es tarea del presente documento determinando así la factibilidad técnica y económica de la tecnología de energías limpias como el biodiesel con el fin de atender la demanda del transporte público de Mexicali motorizado a base diesel.

Se pretende realizar un aporte sustantivo mediante esta investigación en lo concerniente a la comprensión y aplicación de este tipo de tecnologías, para formular proyectos de generación de biocombustibles limpios que abaten el agotamiento progresivo del petróleo y ayuden al cuidado del ambiente utilizando fuentes renovables –biodiesel en este caso- y lograr disminuir la percepción de riesgos y las barreras de entrada en el desarrollo de estos proyectos, ya sea por parte de una entidad pública o de una privada, al mostrar las mejoras financieras, ambientales y sociales logradas con las actividades del proyecto.



Antecedentes

En el mundo de los biocombustibles son muchos los países que han resultado ser caso de éxito. El principal productor de biodiesel en el mundo es Alemania, que concentra el 63% de la producción. Le sigue Francia con el 17%, Estados Unidos con el 10%, Italia con el 7% y Austria con el 3%. El aprovechamiento de sus materias primas los hace competentes en el mercado de los biocombustibles (Gamboa, 2009).

Algunas investigaciones y desarrollo de tecnologías han dado lugar a la producción de este biocombustible. Por ejemplo, el realizado por el Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos denominado Adecuación Tecnológica de la Producción de biodiesel para el PNCC. El objetivo general de este proyecto consiste en desarrollar la tecnología adecuada para la producción de biodiesel a partir de residuos grasos de matadero y aceites de cocina agotados. (IIDEPROQ, 2007)

El Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Ottawa desarrolló estudios que consisten básicamente en la factibilidad económica para procesos continuos de producción de biodiesel incluyendo catálisis ácida y alcalina en procesos, a partir de aceites vegetales residuales de cocina y usando aceite vegetal virgen. Pensando en este último, bajo la modalidad de catálisis alcalina arroja costos de capital fijos más bajos, mientras que en catálisis ácida usando aceite vegetal residual fue más económicamente factible, dando como resultado un costo total de manufactura más bajo, en resumen



ofrece los cálculos económicos y análisis de sensibilidad para los distintos procesos. (Y. Zhang, 2002)

Otra investigación con aporte sustantivo es del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Strathclyde Glasgow la cual explica el procedimiento de factibilidad para la instalación de una planta de biodiesel a partir de aceites vegetales, define los requerimientos de una planta y problemas estratégicos que deben ser considerados para saber si es factible y las estrategias que encaminen al éxito. Dicho estudio ayuda en la toma racional de decisiones acerca del desarrollo de la planta de producción. (Mendez, 2006).

Entre otros avances que se pueden mencionar a nivel nacional son los siguientes:

- Instituto de Tecnología Monterrey (ITESM) – Una investigación de planta con una capacidad de 200 litros, usando aceites vegetales residuales como materia prima y actualmente funcionando con una capacidad de alrededor de 8 metros cúbicos/mes (84 MT/año). La producción es usada para preparar 20% biodiesel mezcla (B20) como combustible en autobús de transporte de estudiantes.
- Universidad de Vasconcelos – Localizada en el Edo. de Oaxaca, utiliza el aceite vegetal residual como materia prima para producir biodiesel. Su planta tiene una capacidad de 3.6 metros cúbicos/mes. La producción es utilizada para preparar mezcla B20 usada en autobuses de la universidad.



- Otros proyectos – Hay proyectos de área privada donde incluyen la producción de biodiesel en México, pero no están debidamente documentados siendo datos de una encuesta nacional en desarrollo de biodiesel. Por ejemplo, la empresa manufacturera SABRITAS, está contemplando el uso de grasa residual para producción de biodiesel para el uso de vehículos de entrega de la compañía.

Se observa que en Mexicali no es relevante y es nulo el uso de biodiesel por lo que debemos emprender esta fuente alternativa de energía aprovechando los recursos disponibles de la región como son de ejemplo muchos otros casos. El propósito y la delimitación geográfica de la presente investigación la hacen diferente a las encontradas en el estudio del estado del arte.

Problemática

El planteamiento del problema se resume con las siguientes preguntas: ¿Es factible técnica y económicamente la producción de biodiesel en la ciudad de Mexicali considerando disponibilidad de materia prima y tecnología para atender la demanda del sector transporte público teniendo como ventaja su impacto positivo ambiental y de reconversión tecnológica?



Interrogantes secundarias:

1. Considerando los diferentes procesos de obtención, continuos y por lotes; la catálisis acida o la alcalina, ¿Qué es lo más viable tanto técnica como económicamente para la obtención de biodiesel?
2. ¿Cuál es la disponibilidad de materia prima de la cual se cuenta en la región para producir biodiesel?
3. Entre los reactivos disponibles de metanol y el etanol, ¿cuál es el más viables tanto técnica como económicamente para la obtención de biodiesel?
4. ¿Cuál es el número de unidades vehiculares base diesel del sector transporte público en la ciudad?
5. ¿Cuál es el número de rutas, recorrido promedio por unidad y rendimiento promedio en consumo de combustible base diesel del sector transporte público municipal en Mexicali?

Objetivos

General

- Evaluar la factibilidad técnica y económica de una planta de producción de biodiesel a partir de aceites y grasas disponibles en Mexicali, para satisfacer la demanda de combustible del sector transporte público (base diesel) mediante la implementación de la mezcla B20 (20% biodiesel) y lograr estándares de



sustentabilidad que mejoren la eficiencia y competitividad del transporte público de la ciudad para el periodo 2008-2010.

Específicos

- Determinar la disponibilidad de materias primas potenciales para la producción de biodiesel.
- Caracterizar el sector transporte público de la ciudad.
- Determinar la demanda de diesel del sector transporte público.
- Desarrollar un plan de negocios para la implementación de una planta de producción de biodiesel con una capacidad de procesamiento de 420 litros/hora.
- Estimar la reducción de emisiones por el uso de la mezcla B20 en el sector transporte público.

Hipótesis de investigación

Es factible técnica y económicamente la producción de biodiesel a partir de aceites y grasas disponibles en la región con el propósito de satisfacer el 100% de la demanda del sector transporte público en mezcla B20 demostrando teóricamente que las emisiones se reducirán en un rango de 10-15%.



Metodología

Las actividades que se llevaron a cabo para el desarrollo del presente proyecto de investigación se enlistan a continuación:

- Consulta de las bases de datos de la red del Sistema Municipal de Transporte Público (Octubre, 2009), donde se obtuvieron indicadores como son: inventario de unidades base diesel, modelos promedio de las concesionarias adscritas, rutas, y recorridos promedio.
- Estimación de la demanda diesel de la red del SMTP con datos del año 2009, clasificada por concesionaria, para la determinación de indicadores.
- Identificación del proceso de producción de biodiesel monitoreando el comportamiento de los insumos, tomando en cuenta las variables que pudieren afectar al proceso y que hay que considerar para un mejor control del mismo.
- Adaptación de una memoria de cálculo para elaborar las estimaciones financieras.



- Realización de corridas financieras bajo las condiciones expuestas en el presente documento, considerando la producción en función de la demanda del sector transporte público, su comportamiento y evolución en relación al tiempo de operación monitoreando costos de inversión total, egresos e ingresos para determinar su factibilidad.
- Análisis de resultados con el objetivo de dimensionar el sistema global, en lo correspondiente a indicadores técnico-económicos.

Panorama energético nacional

En los últimos años ha tenido una mayor difusión por parte de las autoridades y universidades, el uso de energías alternativas como el biodiesel cuyo potencial en el mercado se debe a la creciente amenaza de escasez y precios altos del petróleo. En este sentido el sector transporte constituye un factor importante para promover el uso del biodiesel, el segmento del transporte público urbano es un candidato potencial para iniciar un proyecto de escala comercial con integración de servicios que mejoren las condiciones de competitividad. Por ello, es necesario determinar los requerimientos y materias primas disponibles para la producción de biodiesel con el fin de evaluarlos técnica y económicamente.



Como parte de esta gestión y promoción de los biocombustibles, en el año 2006, se desarrolló, por parte de la SENER, el Proyecto denominado Potenciales y Viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para el Transporte en México, que arrojó datos determinantes en cuanto a las materias primas viables y las tecnologías, más adecuadas para producción de bioetanol y biodiesel, para ser utilizado en el sector transporte nacional, estatal y municipal.

Por otra parte urge concretar la reforma energética del 2008, la Comisión de Energía comenta que PEMEX tiene una estructura financiera quebrada, sus números son rojo intenso. Se presume que los costos de producción en PEMEX están al alta debido a la explotación de yacimientos caros. Definitivamente México, necesita atraer las nuevas ideas de inversión para solventar y abatir el rezago en desarrollo de tecnología ya que tiene la experiencia suficiente y las vivencias más frescas sobre lo que está haciendo el Gobierno Federal.

Tendencias de los bioenergéticos

De acuerdo (SENER, 2005), de un total de 53 megawatts, el 76.6 por ciento de la capacidad instalada en el sector eléctrico nacional corresponde a tecnologías que utilizan combustibles fósiles como gas natural, combustóleo, carbón y diesel



Esta gran dependencia de los combustibles fósiles contribuye al calentamiento global, además de estar sujeta tanto a las fluctuaciones financieras mundiales como al agotamiento de reservas. Así pues, necesitamos alternativas energéticas más convenientes en los aspectos económicos, sociales y ambientales.

En el mundo, las energías renovables y en particular los bioenergéticos (combustibles obtenidos de la biomasa) se encuentran en desarrollo y las tendencias del sector indican que tendrán una participación muy importante en la diversificación energética de los países y en la construcción de economías con baja intensidad de carbono.

El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables en México indica que la biomasa y biogás aportan actualmente 498 megawatts de capacidad instalada y 819 gigawatts/hora de la generación eléctrica, es decir 0.86 por ciento y 0.33 por ciento respectivamente del total nacional, no obstante que el potencial de la bioenergía en México se estima entre 2 mil 635 y 3 mil 771 PJ/año, incluyendo combustibles de madera, agrocombustibles y biogás de rellenos sanitarios (SENER, 2007)

Adicionalmente, las comunidades rurales aisladas del país satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa, principalmente con leña, que provee cerca del 75% de la energía de los hogares.



A pesar de los avances, México se encuentra rezagado en el desarrollo y uso de los bioenergéticos, contrastando con casos exitosos como el etanol a base de maíz, en Estados Unidos y el etanol a base de caña de azúcar, en Brasil. Estos bioenergéticos a base de cultivos alimentarios se denominan de "primera generación" y se distinguen de los bioenergéticos de segunda generación, cuya materia prima es la biomasa derivada de cultivos no alimentarios, de residuos, o de materia orgánica no comestible. Los ejemplos más exitosos son la higuera o piñón (*Jatropha*) en Asia, y el aprovechamiento de biogás de los rellenos sanitarios. Estas dos generaciones de bioenergéticos son reconocidas a nivel mundial, y algunas instituciones como la Asociación Internacional de Transporte Aéreo consideran además, una tercera generación de bioenergéticos, que incluye los derivados de algas y microorganismos, o de sus productos metabólicos. Las tres generaciones de bioenergéticos se encuentran en desarrollo y todas presentan ventajas y desventajas.

Actualmente los combustibles de primera generación son los más extendidos; sin embargo, el caso de Brasil demuestra que se requieren décadas de trabajo para consolidar una industria sólida de bioenergéticos. El desarrollo paralelo de la oferta de etanol y de su demanda interna, por medio de automóviles de combustible flexible, fue el factor decisivo para impulsar el mercado interno de bioenergéticos.

Por consiguiente, no es recomendable que México, que aún no tiene un mercado consolidado de bioenergéticos de primera generación lo empiecen a desarrollar ahora,



puesto que se enfrentarán a condiciones adversas, como la necesidad de producir más alimento, la escasez de agua, las restricciones en el uso de agroquímicos, entre otras. En este sentido, se observa que la redacción actual de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en 2008, favorece que la industria nacional de los bioenergéticos se apoye principalmente en la producción agropecuaria, con énfasis en cultivos alimentarios como el maíz, lo cual podría constituir un riesgo para la seguridad alimentaria y energética de nuestro país.

Una estrategia más atractiva para México, sería apostar al desarrollo de los bioenergéticos de segunda y tercera generación, que a pesar de tener hoy un desarrollo incipiente, presentan ventajas importantes como las siguientes:

- **Económicas:** tienen menor costo de insumos por unidad de producción, mayor eficiencia en el uso de tierra y mayor poder energético por unidad de producción.
- **Sociales:** no compiten con la producción de alimentos y están disponibles en pequeña escala, con lo cual pueden potenciar el desarrollo local y regional.
- **Ambientales:** no favorecen el monocultivo ni el agotamiento de tierras agrícolas, tienen mayor potencial para reducción de emisiones contaminantes, y favorecen el tratamiento de aguas residuales.



Marco Jurídico

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

Con la finalidad de promover los bioenergéticos, México ha actualizado recientemente su marco jurídico y sus políticas públicas. El mayor adelanto es la Ley de Promoción y desarrollo de los bioenergéticos, que entró en vigor en febrero de 2008 y desde entonces no ha sufrido ninguna reforma.

Cabe señalar que en febrero de 2008, en México se presentó una iniciativa de Ley en el mismo sentido que la presente, la cual no ha sido dictaminada hasta la fecha, aterrizando el tema de priorizar a los bioenergéticos de segunda y tercera generación en materia de incentivos y apoyos en infraestructura, apoyos de investigación científica y tecnológica.

La propuesta de cambio y adiciones a la ley es bajo los siguientes conceptos:

Artículo 2. ...

II. Bioenergéticos: Combustibles obtenidos de la biomasa, provenientes de la materia orgánica viva o muerta, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de esta Ley; atendiendo a lo dispuesto en el artículo 1 fracción I de este ordenamiento.



II Bis. Bioenergéticos de primera generación: Aquellos bioenergéticos derivados de las partes comestibles de cultivos alimentarios, o de materia orgánica comestible.

II Ter. Bioenergéticos de segunda generación: Aquellos bioenergéticos derivados de las partes no comestibles de cultivos alimentarios, de cultivos no alimentarios, de residuos agropecuarios o domésticos, o de materia orgánica no comestible.

II Quater. Bioenergéticos de tercera generación: Aquellos bioenergéticos derivados de algas y microorganismos, o de sus productos metabólicos.

Artículo 18. ...

Los incentivos estarán dirigidos a personas que contribuyan al desarrollo de la industria de los bioenergéticos de segunda y tercera generación, y a la modernización de su infraestructura, a través de la fabricación, adquisición, instalación, operación o mantenimiento de maquinaria para la producción de bioenergéticos de segunda y tercera generación. 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.

Artículo 19. La SAGARPA y la SENER apoyarán la investigación científica y tecnológica para la producción y uso de los bioenergéticos, priorizando los de segunda y tercera generación, así como la capacitación en estas materias y tendrán como propósitos esenciales:



De esta manera, se percibe la urgente necesidad de promover la separación entre los bioenergéticos y la industria alimentaria, privilegiando el desarrollo de los bioenergéticos de segunda y tercera generación, sobre aquellos de primera generación.

Congruencia del Plan de Desarrollo Municipal de Mexicali 2008-2010, en materia de transporte público.

La ciudad de Mexicali presenta uno de los mayores índices de vehículos por persona de todo el país, lo que representa un automóvil por cada 2 habitantes, es decir más de 400,000 automóviles, esta suma se ha incrementado en los últimos diez años en más del 75% teniendo como consecuencia congestionamiento y accidentes viales debido al rezago en infraestructura de vías alternas para desfogar las rutas principales (PDM, 2007)

La población está en incremento y esto trae consigo mayor demanda de servicios por los usuarios, principalmente en el ramo de transporte colectivo de pasajeros, desfavoreciendo en el incremento en emisiones por parte del parque vehicular, siendo el uso de biodiesel una alternativa que abatiría los efectos por la mala calidad del aire.

El progreso tecnológico y el desarrollo han creado diferentes formas de contaminación ambiental que afectan a los habitantes del municipio.



Según el PDM de Mexicali, en lo referente a la contaminación del aire, los principales problemas son: la falta de pavimentación de más del 70% de la zona rural, el parque vehicular y la industria. Esto provoca altas concentraciones de partículas inhalantes causadas por polvo y la quema de químicos. Ahora bien, el principal problema de contaminación en la zona urbana lo constituyen las emisiones emanadas de los más de 400,000 automóviles (68% de la contaminación) y camiones que circulan en la ciudad, este factor está concentrado principalmente en el Centro cívico y Centro Histórico, otra zona que se considera la más afectada en la zona industrial González Ortega.

Dentro del PDM se aborda el tema de movilidad urbana que busca dar prioridad al transporte público colectivo, mecanismo para ayudar a la disminución en la contaminación ambiental y a la fluidez del tránsito vehicular en la ciudad.

Con el programa de modernización del Transporte Público se busca realizar acciones y obras derivadas del diagnóstico sobre el transporte público, para lograr la modernización y calidad en el servicio a la ciudadanía de Mexicali.

El objetivo general es lograr que la gestión municipal, brinde atención integral a través de una política de desarrollo que fortalezca el crecimiento sustentable en lo urbano y lo rural en las localidades y los principales centros de población que integran el municipio de Mexicali, mediante el impulso de infraestructura estratégica y servicios públicos de calidad



promoviendo el cuidado del medio ambiente sano, la planeación y ordenamiento y una mejor imagen urbana.

Bajo los criterios y argumentos mencionados con anterioridad se puede asumir que la necesidad es clara en el desarrollo de ésta tecnología, por lo que a continuación se aborda el tema del biodiesel, una alternativa para el sector público en Mexicali.



Biodiesel

En términos sencillos, el biodiesel es un producto obtenido a partir de un proceso conocido como transesterificación donde el aceite vegetal o grasa animal reacciona químicamente con un alcohol para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos.

El biodiesel se define según la ASTM como una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales (ASTM 2008). El biodiesel se obtiene mediante una reacción de transesterificación mostrada en la Figura 2, que consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol de cadena corta, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. Considerando dos rutas, la catálisis alcalina y ácida.

La calidad del biodiesel depende principalmente de la materia prima y de los reactivos que se necesitan para llevar a cabo la reacción de transesterificación. Para determinar la calidad de biodiesel, se realizan pruebas según las especificaciones de la Norma ASTM D6751. Entre las que destacan: punto flash, agua y sedimento, viscosidad cinemática, ceniza sulfatada, azufre total, corrosión de tiras de cobre, número de cetano, punto de nube, residuo de carbono y número ácido, glicerina libre, glicerina total, fósforo y destilación al vacío punto final.

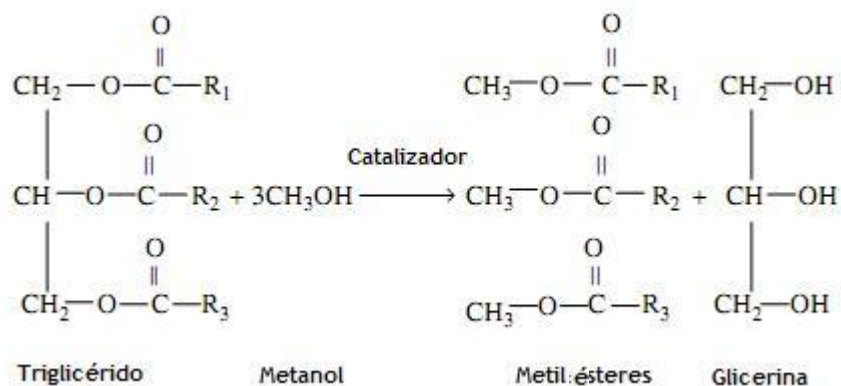


Figura 2. Reacción de transesterificación.

Teóricamente las proporciones aproximadas de reactivos y productos en la obtención de biodiesel se pueden observar en la Figura 3.



Figura 3. Proporciones aproximadas de la reacción para obtener biodiesel

Ventajas	Desventajas
– Renovable – Carbono neutro – Biodegradable – Beneficios al ambiente – Bajas Emisiones – No requiere modificaciones a motores – No tóxico – Balance de Energía, 3.2:1 – Alto no. de cetano y excelente lubricidad. – Alto punto de inflamación (>300°F)	– Menos contenido energético respecto al diesel convencional 6-9% menos por unidad de volumen – Su funcionalidad depende de la materia prima utilizada Por ejemplo a partir de la soya se puede solidificar alrededor de los 0°C. ○ Necesita aditivos – Falta de suministro de la materia prima

Tabla 1. Ventajas y desventajas del biodiesel

Proceso de obtención de biodiesel

Dadas las características de las mezclas aceitosas recolectadas, es necesario efectuar el proceso de obtención de biodiesel en dos etapas. Estudios previos muestran que los ácidos grasos libres presentes inhiben la reacción de transesterificación por vía alcalina debido a que forman jabones. Por ello, es necesario efectuar un pretratamiento que



consiste en una reacción de las mezclas aceitosas con un alcohol, en presencia de un ácido como catalizador, lo cual permite convertir los ácidos grasos libres en los correspondientes ésteres.

Cabe mencionar que cuando se procesan los AVR, se utiliza la catálisis ácida por lo general, para mejorar el rendimiento de la reacción, ya que la mayoría de las mezclas de los AVR presentan exceso de ácidos grasos libres, que se forman por someterse a periodos prolongados de calentamiento.

La Figura 4 muestra de manera simplificada cada una de las etapas, de uno de los procedimientos que se ha probado a nivel laboratorio para obtener biodiesel a partir de aceites comestibles residuales, utilizando metanol e hidróxido de sodio.

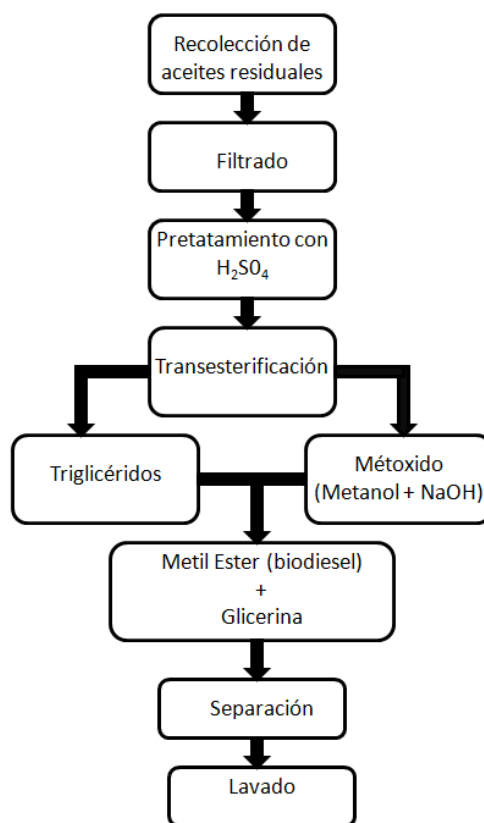


Figura 4. Esquema simplificado para producción de biodiesel

Catálisis Alcalina

En este método se puede utilizar el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio con alcohol, (metanol o etanol) así como con cualquier tipo de aceite refinado. En este proceso es mejor producir el alcóxido para obtener mejor eficiencia global en la reacción. Los tipos de alcohol más utilizados en este proceso son el metanol y el etanol. La temperatura usual de la reacción es de $60^{\circ}C$ pero ello depende del tipo de catalizador. El proceso con catálisis alcalina es más eficiente y menos corrosivo que el proceso con ácido (Meher, 2006).



Catálisis Ácida

En este método la materia prima, compuesta de ácidos grasos y triglicéridos (aceite o grasa), reacciona con metanol y ácido sulfúrico o sulfónico como catalizador. En la catálisis ácida al igual que la alcalina un exceso de alcohol produce una mejor conversión de triglicéridos, pero la recuperación de glicerol es más difícil y la reacción óptima entre el alcohol y otro material se debe determinar de forma experimental, considerando que cada proceso es un nuevo problema. La temperatura típica de la reacción es superior a los 100°C y requiere más de 3 horas para que se complete la conversión (Meher, 2006).

El diagrama de proceso para la obtención de biodiesel conlleva en síntesis un pretratamiento ácido del aceite residual, sometimiento a proceso de transesterificación y finalmente a la obtención de biodiesel y glicerina como productos.

Condiciones y Rendimientos

Se seleccionó una muestra de 100 ml de aceite usado proveniente de freidora de papas.



Tabla 2. Resumen de Indicadores para obtención de biodiesel

Concepto	Cantidad	
Reactivos	Aceite Usado	100 ml
	Sosa Caustica (Hidróxido de Sodio)	2 gramos
	Metóxido de Sodio elaborado	20 ml
Material	Vaso Precipitado	1 pza.
	Embudo de Separación	1 pza.
	Soporte Universal	1 pza.
	Plancha	1 pza.
	Agitador	1 pza.
	Termómetro	1 pza.
	Balanza analítica	1 pza.
Condiciones	PH	+5
	Temperatura	55 C
	Agitación	250 RPM
	Tiempo de Ejecución de reacción	60 minutos
Rendimientos	Biodiesel	86.4 %
	Glicerina	6.4 %
	Impurezas	7.2 %

Los rendimientos obtenidos a nivel laboratorio serán considerados en términos de producción para el cálculo de las metas programadas.

Análisis comparativo de biodiesel y diesel

Considerando las ventajas del uso del biodiesel respecto al diesel en el aspecto ambiental es altamente competitivo ya que participa reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, destacando el dióxido de carbono CO₂. En cuanto a su implementación en los motores fabricados para el combustible diesel, derivado del petróleo, actualmente se recomienda utilizar el biodiesel en proporciones como B20, que no complican el funcionamiento del motor, y que requiere modificaciones menores.



Materia prima potencial para producción de biodiesel

Las materias primas potenciales consideradas en el presente documento son grasas animales provenientes de rastros locales, el aceite de la semilla de algodón y los aceites vegetales residuales. Los parámetros se resumen bajo consideraciones y situación en el mercado, ventajas y desventajas, procesos de obtención, precios, competencia con la industria alimenticia, entre otros.

Grasas animales

La materia prima generada por los rastros locales se estima en 6,000 ton anuales, la desventaja que tiene una fuerte competencia en el ámbito comercial, ya que es aprovechada para la elaboración de productos derivados de la misma, la cual genera altos precios de venta.

Precisamente, en la zona costa, se encuentra una de las dos zonas productoras de ganado bovino para carne, que posee Baja California, donde se produce el 22% de la carne de bovino y la otra zona es la del Valle de Mexicali, donde se produce el 78 % restante. El Estado cuenta con 6 rastros, 3 rastros Tipo Inspección Federal (TIF) ubicados en Mexicali donde se produce una carne de excelente calidad gracias a los sistemas denominados ARPCC (Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control), implementados en todos los establecimientos TIF, 1 particular en Tijuana y 2 municipales en Ensenada y

Tecate. La tabla 3 muestra el comportamiento del sector de ganado bovino en Baja California. (SIAC, 2004)

Tabla 3. Producción de ganado bovino en Baja California periodo 2002-2006

Año	Mexicali		Resto del Estado	
	Animales sacrificados	Producción (toneladas)	Animales Sacrificados (cabezas)	Producción (toneladas)
2002	176943	44236	36075	9126
2003	185854	48856	26205	6484
2004	202907	57363	20198	5139
2005	223545	64742	21764	5497
2006	236527	71306	23462	5907

Fuente: INEGI, 2007

Para este análisis, se asume que el 13.12% de la grasa obtenida del proceso de rendimiento de grasa no comestible, es grasa amarilla, la cual se extrae por prensado del producto sólido (1995), y la cual por tener una menor calidad y costo, se podría usar como materia prima para la producción de biodiesel. De acuerdo a la generación de residuos cárnicos en el 2008, se tendría un total de 1,382 toneladas de grasa amarilla considerando que el rendimiento de la producción del biodiesel fuera del 95% con respecto al sebo de entrada al proceso (Bhatti, 2008).

El potencial de energía disponible a partir del sebo estimado es de 51,197 GJ/año en Baja California. Para Mexicali representa aproximadamente 39,933 GJ/año. Desde el punto de vista ambiental un factor desfavorable respecto a las demás materias primas es que contiene en su estructura molecular pequeñas cantidades de azufre.



Semilla de Algodón

De acuerdo con el reporte (SAGARPA, 2007), el potencial de producción de la semilla de algodón fue de 48,395 toneladas lo cual representa 9,679 toneladas de extracción de aceite.

Aceites vegetales residuales

El fin del análisis de la generación de AVR de los restaurantes en Mexicali, fue el de estimar la materia prima disponible para la producción de biodiesel, el estimado proyectado en el estudio es de 2.13 millones de litros anuales.

Técnicamente es importante recalcar que se debe producir asegurando la calidad del mismo implicando un mejor control en el monitoreo ya que la materia prima proviene de diferentes tipos de aceites vegetales sometido a diferentes temperaturas.

Existen varias razones por las cuales es pertinente fomentar el desarrollo de biodiesel a partir de AVR, entre las que se pueden mencionar las siguientes (Canacki and Gerpen 2001) (Van Gerpen, Pruszek et al. 2006):

- Representa un método potencialmente sustentable, en el que se revaloriza y reaprovecha un recurso con un alto contenido energético, para producir un

combustible más limpio. De esta manera se deja de desechar un recurso valioso desde el punto de vista energético, y al mismo tiempo se ve ampliamente beneficiado el medio ambiente, así como la sociedad en general.

- Evita el uso de cultivos oleaginosos de grado alimenticio en la producción de biodiesel, por lo que no se pone en riesgo la seguridad alimentaria, ya que se trata de la reutilización de un residuo.
- Las emisiones de bióxido de carbono se integran al ciclo de carbono de las plantas de donde se extraen los aceites.

La elección de esta fuente como materia prima atraería grandes beneficios económicos ya que su implementación impactaría directamente en los costos de operación y mantenimiento de la red del sistema de alcantarillado de la ciudad, actualmente se destina aproximadamente 57 millones de pesos por este concepto en el presupuesto anual 2009 de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. A grandes rasgos, el programa de recolección involucraría el Ayuntamiento de Mexicali basado en un reglamento por disposición de residuos de la industria restaurantera, los costos de operación de este rubro no impactarían ya que periódicamente se lleva cabo la recolección de basura y residuos en la ciudad. De alguna manera, los problemas de contaminación de agua, suelo y aire, inundaciones por taponamientos a la red son traducidos a beneficios de la sociedad, sumando el aspecto detonante de imagen de una ciudad limpia.



Es importante destacar que los vehículos para transportar residuos enfrentarían costos proporcionales a la cantidad que recolectan: si aumenta la cantidad crece el número de viajes y por lo tanto, el desgaste de llantas, maquinaria, combustibles, lubricantes, etc. es decir los costos de operación de los vehículos aumentan.

Para cuantificar y valorar el beneficio es necesario tener en cuenta el cambio del presupuesto destinado a operación de los vehículos recolectores contra la cantidad anual promedio de residuos que se transportan. Cabe mencionar que la participación de la sociedad en la adopción de una nueva cultura en disposición de residuos es sumamente importante y la logística implementada para la recolección.

El plan estratégico de recolección de los AVR pretende establecer en las empresas una imagen distintiva al concepto innovador por buena disposición de residuos con destino a la producción de biocombustibles.

Selección de materia prima para producción de biodiesel

Existe materia prima disponible en la región, la elección o combinación de ellas se sustenta en indicadores de impacto técnico, económicos, sociales y ambientales. En este contexto, se delimita la producción de biodiesel a partir de AVR.



Análisis Estadístico del Sector Transporte Público en Mexicali

Para efecto de estudio del parque vehicular es necesario analizar y observar el comportamiento de la demanda de este nicho de mercado el cual se limita al transporte público de Mexicali motorizado a base diesel.

Las empresas vigentes en el padrón del Sistema Municipal de Transporte Público de Mexicali como concesionarias del transporte colectivo urbano y suburbano ascienden a 16, mismas que a su vez cuentan con 972 unidades registradas en 39 rutas avaladas por el sector (SMTP, 2009).

La modernización del transporte en Mexicali avanza, ya para muestra, el 61% de los autobuses urbanos de pasajeros ha sido renovado, es decir, de las 527 unidades que recorren las diferentes rutas de la ciudad, 321 cuentan con una antigüedad de cinco años o menos. Ante esta situación, el reto del cambio climático, las oportunidades de desarrollo para el sector transporte, son factores determinantes para el cambio tecnológico.

Por otra parte, el rezago en la investigación y transferencia tecnológica en materia de energía renovable, la disponibilidad de los insumos y el potencial de un mercado regional para el uso de biocombustibles, ofrece una gran oportunidad de negocio para generar nuevas fuentes de energía en Baja California. Por tales razones, resulta pertinente el

desarrollo de proyectos que evalúen y apoyen las iniciativas de políticas y programas de apoyo sustentable en la ciudad de Mexicali.

Inventario de Unidades

El padrón de unidades registradas en el año 2009 asciende a 972 unidades distribuidas en las 16 concesionarias, de las cuales actualmente se encuentra operando 527 unidades. En la tabla 4 se muestra el número de unidades y modelos por concesionaria.

Para efectos de estudio se considero un rendimiento promedio de 5.5 kilómetro/litro, puesto que el parque vehicular que circula el promedio de los modelos es de 1988, tomando el rendimiento más bajo según Inventario de Emisiones para Mexicali.

Tabla 4. Número de unidades del STP motor diesel circulando en Mexicali

Empresa	Modelo	Unidades	%
Sociedad cooperativa de Transporte Estrella del Norte S.C.L	1987	63	11.93
Autotransportes Urbanos S.A. de C.V. (ATUSA)	2004-2006	107	20.27
Sociedad Cooperativa de transporte Azul y Blanco S.C.L.	1987	16	2.98
Autotransportes Fernando Amilpa S.A. de C.V.	1986	40	7.51
Sociedad Cooperativa de Autotransportes Amarillo y Blanco S.C. L	1988-1989	96	18.21
Transportes Urbanos y Suburbanos Cachanilla S.A. de C.V.	1987-1989	72	13.68
Autotransportes Urbanos de Pasajeros en Microbuses S.A. de C. V	1986	35	6.69
Soc. Coop. De Transporte MALPICA del Norte S.C. L	2004	13	2.47
Sociedad Cooperativa de Transportes Urbanos Fausto Vázquez S.C. L	1986	13	2.47
Transportes H&I S.A. de C.V.	1989	8	1.54
Autotransportes de Servicios Mixtos del Valle de Mexicali S.A. de C.V.	1982	12	2.37
Transportes Miguel Siga	1982	10	1.85
Transportes Miguel Gutiérrez Banaga S. A. de C. V.	1982	8	1.44
Transportes Especiales de Baja California S.A. de C.V.	1987	4	0.82
Autotransportes Misioneros de la Baja S. A. de C.V.	1989	16	3.09
Transportes Modernos de Mexicali S.A. de C.V.	1990	14	2.67
Total	1988	527	100

Fuente: Elaboración propia con datos de SMTP, 2009

Consumo de Diesel

La metodología utilizada para la obtención de distancias de las rutas diseñadas se sustenta en el mapeo y trazo de líneas ya estructuradas y monitoreadas por el Sistema Municipal de Transporte Público.

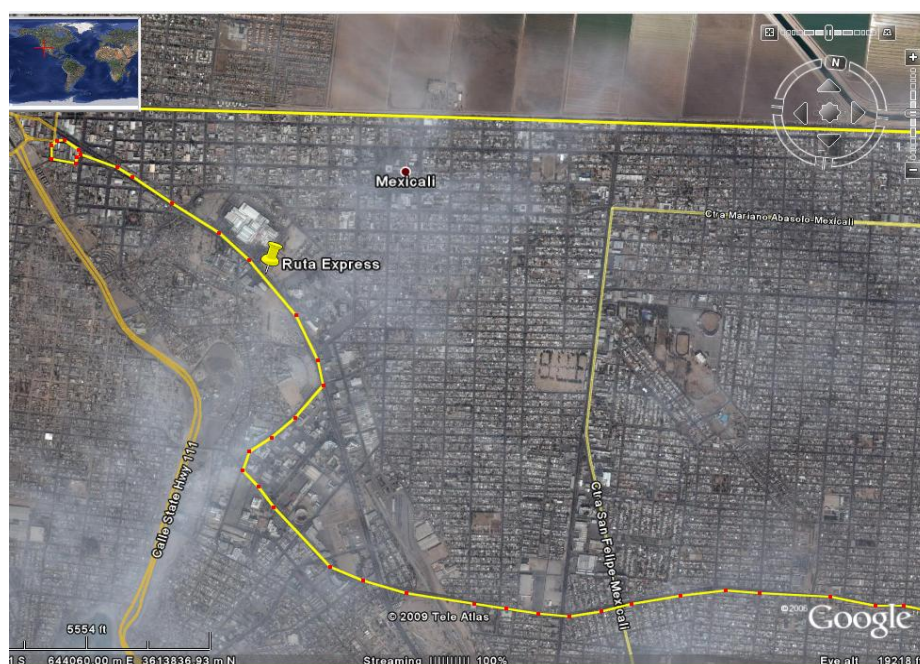


Figura 5. Imagen satelital para la determinación de distancias de rutas

Las variables consideradas para el cálculo del consumo de combustible diesel son las que a continuación se enlistan:

- Consumo de combustible (litros)
- Flota vehicular (unidades en circulación)
- Kilómetros recorridos por vehículo en un año (km/año)
- Rendimiento vehicular (km/L)



- 360 = días/año

Tabla 5. Indicadores de la estimación de consumo de diesel del SMTP en Mexicali

Empresa	Longitud ida y vuelta kms	Corridas diarias	Litros consumidos	Consumo anual (litros)
Sociedad cooperativa de transporte Estrella del Norte S.C.L	303.82	562.85	3,581	1,289,232
Sociedad Cooperativa de Autotransportes Amarillo y Blanco S.C. L	312.82	506.50	4,046	1,456,660
Autotransportes Urbanos S.A. de C.V. (ATUSA)	323.17	555.42	4,666	1,679,902
Transportes Modernos de Mexicali S.A. de C.V.	110.18	167.20	1,679	604,310
Sociedad Cooperativa de Transportes Urbanos Fausto Vázquez S.C. L	77.42	114.00	787	283,168
Soc. Coop. De Transporte MALPICA del Norte S.C. L	38.7	44.00	310	111,456
Sociedad Cooperativa de Transporte Azul y Blanco S.C.L.	43.26	81.70	643	231,339
Transportes Urbanos y Suburbanos Cachanilla S.A. de C.V.	173.30	251.50	1,992	717,077
Autotransportes Fernando Amilpa S.A. de C.V.	91.88	211.50	1,156	416,036
Autotransportes Urbanos de Pasajeros en Microbuses S.A. de C. V	103.96	169.90	1,052	378,734
Totales	1,578.51	2,664.57	19,911	7,167,914

Fuente: Elaboración propia con datos de SMTP, 2009

Derivado de lo anterior se obtienen los siguientes indicadores del sector: 260.51 kilómetros promedio diario recorridos por unidad, el recorrido promedio anual es de 74,000 km por la red de concesionarias, 40.9 km longitud promedio de rutas, 67.06 corridas diarias promedio por ruta, 47.37 litros promedio diarios consumidos por unidad, 17,071.51 litros promedio anuales por unidad.

Diesel y biodiesel (B20) en el Sector Transporte Público

Con el método de aportaciones se realizaron los siguientes cálculos para determinar la demanda energética por parte del sector transporte público. El poder calorífico neto (PCN) del Diesel (SENER 2007) es de 35.32 MJ/L aproximadamente, mientras que el estimado para Biodiesel es de 32.93 MJ/L (NREL 2009), mismo que representa en este sentido una desventaja frente al diesel convencional.

Tabla 6. Comparativo energético diesel vs biodiesel (B20)

Combustible	PCN [MJ/L]	Consumo [L/año]	Demanda energética STMP [GJ/año]	Demanda energética Diesel Baja California GJ/año (UABC 2006)
Diesel convencional	35.32	7,167,914	253,171	1,900,000
Biodiesel	32.93	1,537,630	50,634	
Diesel	35.32	5,734,331	202,536	
Mezcla B20	34.84	7,271,960	253,171	

Fuente: Elaboración propia, Método de aportaciones

La estimación de la demanda del mercado potencial del diesel, asciende aproximadamente a 7.17 millones de litros anuales, de los cuales 1.53 millones corresponde a biodiesel. Considerando que se requiere de un excedente de 104,047 litros anuales de biodiesel (B20) para satisfacer la demanda energética puesto que se considera que el biodiesel por lo general presenta un poder calorífico inferior en un 7% respecto al diesel convencional.



El plan de comercialización contempla el 20% de biodiesel y 80% de diesel cubriendo con esto la demanda anual del sector transporte público. De acuerdo a la demanda energética calculada, 1.53 millones de litros de biodiesel 100% abastecería el 21% aproximadamente de las unidades del sector transporte público. La participación del sector transporte público de Mexicali respecto al consumo de diesel en el Estado es del 13%. Si se pretende por lo menos utilizar la mezcla B20 en el sector representaría un 3% de la energía consumida en diesel en Baja California.

Impacto Ambiental

Emisiones de CO₂, Sector Transporte Público

Para el caso de Mexicali los factores del ámbito geográfico y político interactúan fuertemente en la disponibilidad de materias primas, lo que genera una situación sumamente importante para analizar con mayor detalle, mediante una instrumentación metodológica con capacidad de evaluar no sólo los beneficios técnicos y económicos, sino también las implicaciones sociales y ambientales.

Las normas que rigen y regulan las emisiones vehiculares (NOM-044 y NOM-042), se han vuelto más estrictas dando a su vez un enfoque sistémico que incluye la instrumentación conjunta de estrategias para mejorar la calidad ambiental respecto al uso de combustibles a la par del desempeño vehicular y es por ello que se esperan disminuciones significativas

en emisiones los próximos años, no solo del sector transporte si no también del sector eléctrico y petroquímico, ya que se ha identificado una concentración umbral para algunos de los efectos en la salud basados en estudios epidemiológicos.

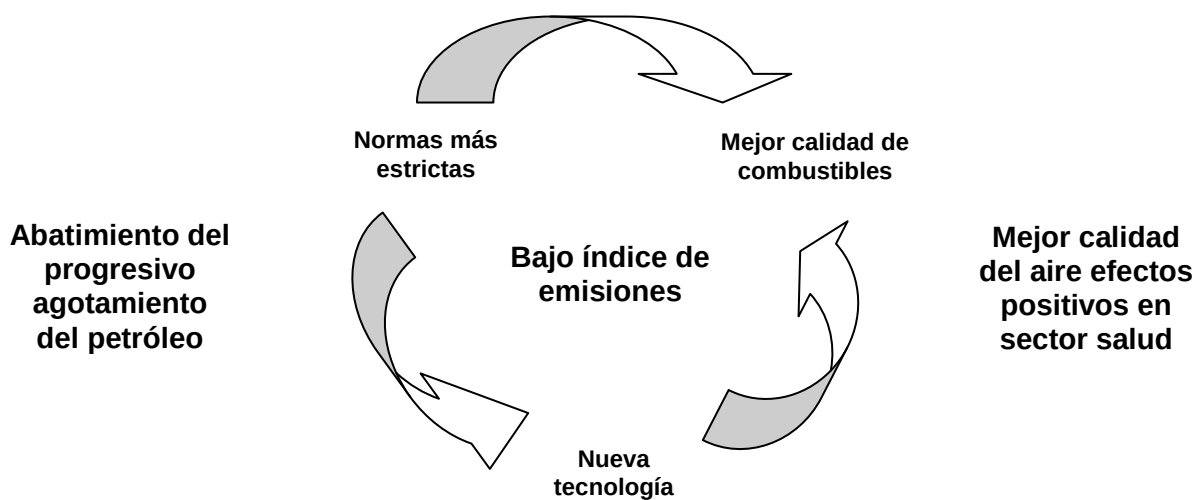


Figura 6. Acciones y efectos para lograr buena calidad del aire

A manera de recomendación en la figura anterior se plantean las acciones que pueden combatir al alto índice de emisiones que se presentan en la ciudad de Mexicali con el propósito de valorar alternativas de sustentabilidad (Molina, 2005).

En relación con esta problemática, algunos estudios demuestran en base a indicadores, de frecuencia de días en los que excede la norma de calidad del aire, que Mexicali en el 2005 ocupó el primer lugar de emisiones PM_{10} y CO a nivel nacional.(INE-SEMARNAT 2007).

La problemática de los GEI generados en la ciudad ha ido en incremento. Estudios como inventarios de emisiones para Mexicali reportan proyecciones con altos índices de CO_2 , SO_2 y PM_{10} por parte del sector transporte público (INE, 1998). Las emisiones crecerán de 70,000 toneladas anuales en el 2005 a 200,000 toneladas en el 2025 (UABC, 2006).

Entre las grandes ventajas del uso de una energía limpia como es el caso del biodiesel es el ciclo del carbono mostrado en la figura 7. Entre sus características el biodiesel presenta un ciclo neutro de emisiones de CO_2 por ser obtenido a partir de plantas oleaginosas, por lo que se configura como una oportunidad para lograr estándares de sustentabilidad en el sector transporte.

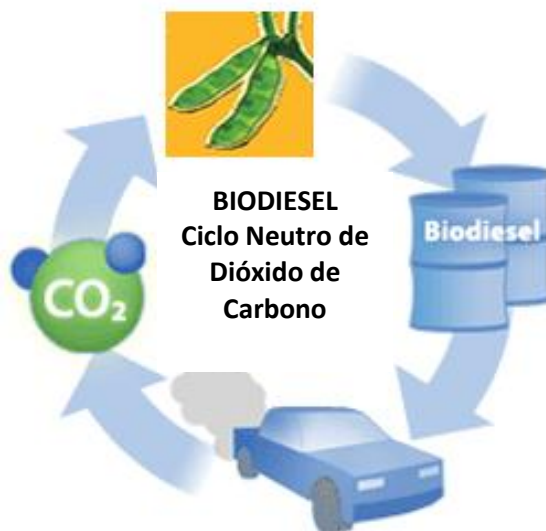


Figura 7. Ciclo neutro de CO_2 biodiesel

Sabemos que el CO₂ en la atmósfera es esencial para la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, pues todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbonos enlazados entre sí. Las plantas necesitan del CO₂ para el proceso de la fotosíntesis. En este contexto sabemos que el biodiesel por su origen natural obteniéndose de plantas oleaginosas al quemarse produce el mismo CO₂ que necesitan las plantas para su crecimiento y desarrollo.

En la figura 8 se muestra el comparativo de diesel convencional vs el escenario el uso de biodiesel (B20) referente a emisiones de CO₂ debido al ciclo neutro en emisiones que presenta.

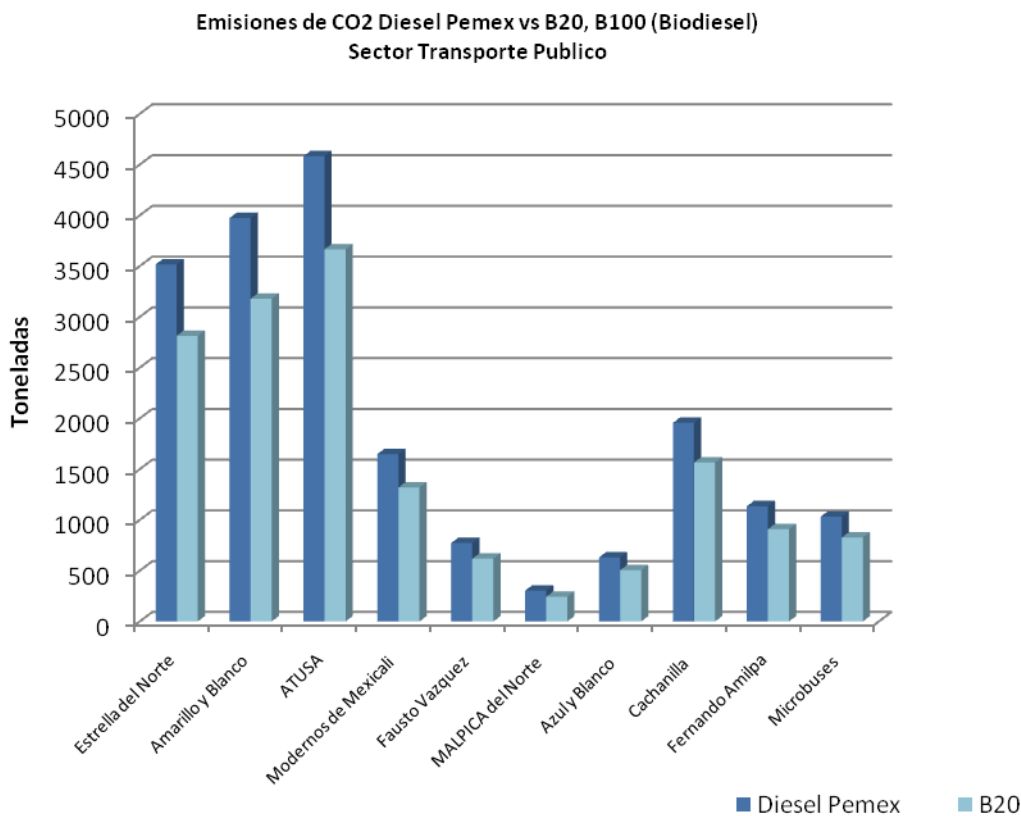


Figura 8. Emisiones de CO₂ diesel vs biodiesel (B20), Sector Transporte Público

Fuente: Elaboración propia con datos de SMTP, 2009



En resumen, 19,554 toneladas de CO₂ utilizando diesel convencional son emitidas anualmente por el sector transporte público en Mexicali según indicadores antes previstos, mientras que el estimado para la mezcla biodiesel-diesel (B20) es de 15,643 toneladas de CO₂ emitidas por dicho sector. La figura anterior indica el comportamiento de las empresas con mayor cantidad de emisiones basado en los indicadores de consumo de unidades circulando, número de unidades, obtención de perfiles en participación de emisión por modelos promedio. Las empresas que mayor participación presenta en emisiones de CO₂ es Amarillo y Blanco, Estrella del Norte y ATUSA, bajo las condiciones ideales anteriormente expuestas. El promedio de emisión de CO₂ por unidad es de 37 toneladas anuales con diesel convencional mientras que en mezcla de biodiesel sería de 29 toneladas anuales.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ se reducirían en un 20% aproximadamente que representan 3,910 toneladas anuales utilizando la mezcla B20 (20% de biodiesel y 80% diesel convencional) en el sector. En el escenario de uso de B100, abatiríamos el 100% en emisiones partiendo de que el origen biológico del CO₂ presenta un ciclo neutro por ser obtenido a partir de plantas oleaginosas.

En el 2008, México ocupó el 4to lugar en bonos de carbono donde participó con el 3% en el mercado mundial de venta de estos llamados bonos verdes, obteniendo ganancias



alrededor de 80 millones de dólares (Practica de Asesoría en Riesgos de KPMG, México, 2008)

Análisis de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Otros contaminantes (HCT, CO, NOx, PM₁₀)

Mexicali actualmente ocupa el primer lugar en emisiones de monóxido de carbono (CO) y PM₁₀ y sexto lugar en ozono, derivado de los diferentes factores contaminantes que se producen en la ciudad (INE-SEMARNAT, 2007).

Para determinar las emisiones del sector transporte público de la ciudad correspondientes a Hidrocarburos Totales (HCT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), partículas suspendidas (PM₁₀), se tomó en cuenta el recorrido anual de las unidades de cada concesionaria, considerando a su vez, la rutas asignadas y el factor de emisión por cada kilómetro recorrido como se muestra en la siguiente tabla, para unidades según el promedio de modelo obtenido en la tabla de inventario de unidades.

Tabla 7. Emisiones por contaminante (g/km) de autobuses base diesel

Modelo	HCT	CO	NOX	PM ₁₀
1982	6.165	13.885	17.85	2.1
1986	6.095	13.697	17.593	2.1
1987	6.094	13.661	17.574	1.37
1989	6.066	13.59	17.461	1.37
1990	6.007	13.565	17.358	1.37
2004	2.935	10.101	4.989	0.48
2006	2.935	10.101	4.989	0.48

Fuente: Elaboración propia, con datos del (SMTP 2009) y (Molina 2005)

Derivado del análisis y cálculo de las distancias recorridas de las unidades de cada concesionaria, el resultado de multiplicar esta variable y el factor de emisión (g/km) correspondiente a cada contaminante tenemos los siguientes resultados:

Tabla 8. Emisiones de GEI por concesionaria

Concesionaria/contaminante-año	HCT (Ton)	CO (Ton)	NOx (Ton)	PM10 (Ton)
Estrella del Norte	43	97	125	10
Amarillo y Blanco	49	109	140	11
ATUSA	27	93	46	4
Modernos de Mexicali	20	45	58	5
Fausto Vázquez	9	21	27	3
MALPICA del Norte	2	6	3	1
Azul y Blanco	8	17	22	2
Cachanilla	24	54	69	5
Fernando Amilpa	14	31	40	5
Microbuses	13	29	37	4
<u>TOTALES</u>	209	503	567	51

Fuente. Elaboración propia con datos de SMTP, 2009

En el caso del catalizador reduce hasta el 95% de los NOx cuando es bajo el contenido de azufre. El STP no presenta condiciones óptimas en relación al uso de convertidores catalíticos según un sondeo realizado en talleres locales para mantenimiento de autobuses de la red de transporte público.

Reducción de emisiones por el uso de biodiesel en el Sector Transporte Público

Basado en los cálculos anteriores se plantea el escenario con el uso de la mezcla B20 tomando en consideración los siguientes porcentajes de reducción.

Tabla 9. Porcentajes de reducción de emisiones con el uso de B20, B100 en autobuses

Porcentajes de reducción en emisiones		
Contaminante	B20	B100
CO	-11%	-48%
PM10	-10.10%	-47%
HCT	-21.10%	-67%
NOx	2%	10%

Fuente: EPA420-P-02-001, Octubre 2002

Podemos asumir que aplicando estos factores se obtiene una reducción manifestada en la siguiente gráfica de forma desglosada por cada concesionaria.

Tabla 10. Escenario de emisiones contaminantes por concesionaria con el uso de B20 y B100

Concesionaria	B20				B100			
	HCT	CO	Nox	PM10	HCT	CO	Nox	PM10
Estrella del Norte	34	86	127	9	14	50	137	5
Amarillo y Blanco	38	97	143	10	16	57	154	6
ATUSA	21	83	47	4	9	49	51	2
Modernos de Mexicali	16	40	59	4	7	23	63	2
Fausto Vázquez	7	19	28	3	3	11	30	2
MALPICA del Norte	1	6	3	0	1	3	3	0
Azul y Blanco	6	15	23	2	3	9	25	1
Cachanilla	19	48	70	5	8	28	76	3
Fernando Amilpa	11	28	41	4	5	16	44	3
Microbuses	10	25	37	4	4	15	40	2
TOTALES	165	447	578	45	69	261	624	26

Fuente: Elaboración propia con datos de SMTP, 2009

En la figura 8 se observa la participación de los diferentes contaminantes del sector transporte público en emisiones por año, mostrando los escenarios con y sin uso de biodiesel.

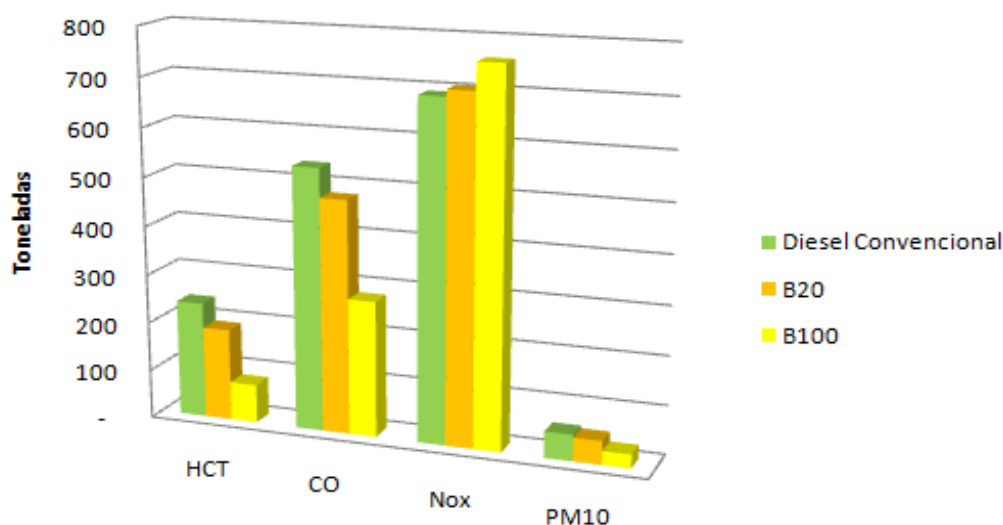


Figura 8. Proporción de emisiones del STP

Fuente: Elaboración propia con datos de SMTP, 2009

A manera de resumen, las estimaciones por reducción de emisiones totales correspondientes a HCT, CO, NOx y PM₁₀ ascienden a 93 y 348 toneladas anuales, con la participación de B20 y B100 respectivamente, en el sector transporte público de la ciudad.

En relación a emisiones anteriormente expuestas (HCT, CO, NOx, PM₁₀) las concesionarias que mayor impacto arrojan son la empresa Amarillo y Blanco y Estrella del



Norte, encontrando una relación directa con el modelo promedio de dichas concesionarias por el alto factor de emisión promedio que se maneja.

Impacto en la salud

El monóxido de carbono CO es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones elevadas puede ser letal. La fuente antropogénica del CO es la quema incompleta de combustibles. En este sentido para disminuir las emisiones de CO es necesario desarrollar procesos de combustión más completos, lo que requiere de una cantidad adecuada de oxígeno, ya que cuando éste es insuficiente, se forma el CO. Los vehículos son la principal fuente de CO en áreas urbanas por lo que en la actualidad los automóviles nuevos cuentan con un convertidor catalítico que permite reducir las emisiones de CO a la atmósfera, así como de otros gases contaminantes (USEPA, 1993).

El CO tiene una acción tóxica en el ser humano por su afinidad con la hemoglobina, a la que se enlaza disminuyendo el transporte del oxígeno en el cuerpo. Entre los efectos en la salud que se asocian con la exposición al CO se encuentran una menor coordinación motora, agravamiento de enfermedades cardiovasculares, fatiga, dolores de cabeza, confusión, náuseas y mareos. En casos extremos, con exposiciones muy elevadas que superan por mucho los niveles que se presentan en la atmósfera de zonas urbana, puede causar la muerte (NSC, 2005).



Las partículas pueden tener un origen antropogénico, que puede incluir desde la quema de combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas. Las partículas pueden ser directamente emitidas de la fuente, las llamadas partículas primarias, o bien formarse en la atmósfera cuando en ésta reaccionan algunas sustancias (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, amoníaco, compuestos orgánicos, etc.), siendo consideradas partículas secundarias.

En general, diversos estudios científicos han relacionado la exposición a las PM_{10} y $PM_{2.5}$ con efectos en la salud, incluyendo agravación del asma, aumento de los síntomas respiratorios, como tos y respiración difícil o dolorosa, bronquitis crónica y reducción de la función pulmonar, entre otras consecuencias. (Damokosh et al., 2000), (Romano, 2000), (Torres-Meza, 2000).

Debido a que en Mexicali los niveles de PM_{10} rebasan los límites permisibles por la norma, estudios demuestran que existe una relación directa de la temperatura y las PM_{10} con el índice de casos de asma y enfermedades respiratorias (UABC-CCBRES, 2003). Es importante recalcar que para el año 2005 se registraron 71 000 toneladas de PM_{10} promedio por monitoreo de las distintas zonas de Mexicali ponderado por población. (INE-SEMARNAT, 2007).



Estudio de factibilidad económica-financiera

Como una alternativa de solución a la problemática del municipio respecto al transporte público y al alto nivel de contaminación por los automotores que usan combustibles derivados del petróleo se propone el desarrollo de una planta de producción de escala comercial, que ofrezca biodiesel a competitivo costo. La idea de desarrollar este concepto será esencialmente positiva, además de los beneficios económicos, se reducirán los índices de contaminación dado que el biodiesel es un biocombustible de impacto ambiental menor que el diesel.

Aunado a lo anterior, su implementación traería beneficios económicos cuantiosos derivado de las fases de operación y manejo de la materia prima, por buena disposición del aceite vegetal residual como desecho. Los costos asociados que implica el taponamiento de la red de alcantarillado, la contaminación del aire, suelo y agua, e inundaciones son algunos factores que se encuentran en la punta del iceberg que en su caso pueden abatirse mediante la implementación de esta alternativa sustentable y las entidades gubernamentales traducirlos a beneficios de la población.

Evaluación socioeconómica

La evaluación socioeconómica costo-beneficio tiene como objetivo determinar si el resultado de la ejecución de un proyecto se refleja en un incremento en el bienestar de la población. Para el adecuado cumplimiento de este objetivo, se define el bienestar como el incremento neto de la riqueza de una economía.

La identificación, cuantificación y valoración de los beneficios y costos pretende obtener indicadores de rentabilidad que permita llegar a la objetiva toma de decisiones. Los flujos de beneficios y costos estimados en el tiempo estarán expresados a precios constantes considerando el factor inflación a lo largo de la vida del proyecto.

Para efecto de este estudio, si el sector público decide ejecutar el proyecto y se realizara con recursos de los contribuyentes, la tasa de descuento de los flujos del proyecto se consideraría en 12%, cifra establecida por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 18 de marzo de 2008. Así mismo se asumió en este proyecto la tasa de descuento del 12% como costo de oportunidad de los recursos públicos, es decir la rentabilidad del mejor uso alternativo del proyecto que se deja de realizar para construir este (beneficios sociales que se dejan de generar por cada unidad de inversión).



Bajo las premisas anteriores y como plan de financiamiento, se recomienda la aplicación de nuevos mecanismos como la Ley de Proyectos Asociación Público-Privada del Estado publicada en la legislatura de Gobierno del Estado de Baja California que entró en vigor en octubre del 2009, misma que promueve la participación en inversiones de desarrollo del sector privado en beneficios traducidos por el sector público. Aprovechando las partes más fuertes de estos grupos, en funcionalidad y experiencia de las diferentes ramas de operación, con la finalidad de ofrecer productos y servicios de mayor calidad a la población. Mediante la asociación se pretende que el privado participe con capital de tal manera que se compromete a prestar servicios de calidad establecidos en un contrato, lo cual es remunerado por el sector público mediante el cálculo de la anualidad equivalente. Esta nueva modalidad tiene sus orígenes en Inglaterra y los resultados han demostrado que es posible obtener ahorros en un 30% en términos de eficiencia.

La cuantificación de la inversión, costos y beneficios se hace en términos económicos, lo cual es representado por los costos financieros de los principales rubros de costo (agregado), libre de impuestos y transferencias.

Estos proyectos se consideran viables, desde el punto de vista económico, cuando con base en los beneficios cuantificables, se presenta:



- a) Una relación Beneficio/Costo (B/C) igual o superior a la unidad ($B/C > 1$), ya que representa la utilidad que se obtendrá por cada peso invertido.
- b) Cuando la diferencia Beneficio menos Costo, o Valor Actual Neto es una unidad positiva (**B-C** o **VPN > 0**), en virtud de que equivale a las ganancias que se obtendrán con el proyecto.
- c) Cuando la Tasa Interna de Retorno es superior al costo de oportunidad del capital, (**TIR > 12%**) dado que esta tasa muestra el rendimiento de la inversión (SEDESOL, 2001).

Basados en este contexto el costo de oportunidad del capital, (o tasa de actualización), para los proyectos del sector de vialidad y transporte urbano se fijó en el 12% anual, considerando aquellos proyectos que serán sujetos de financiamiento BID (SEDESOL, 2001).

Objetivo estratégico

El objetivo general es establecer una planta de producción de biodiesel a partir del aceite residual generado en los restaurantes. Con el propósito de valorar alternativas sustentables que mejoren la eficiencia y competitividad de transporte público de la ciudad de Mexicali.



Algunos de los objetivos específicos son los que a continuación se anuncian:

1. Que la planta produzca 2 millones de litros de biodiesel con el propósito reconvertir el 100% del transporte público que utiliza diesel en la ciudad de Mexicali.
2. Que se incremente la producción de biodiesel 35% promedio anual para alcanzar una cobertura de la demanda del sector al 100% en el tercer año de operación de la planta.
3. Que satisfaga la demanda de servicio no solamente al transporte público sino a futuros clientes potenciales después del 3er. año de operación de la planta.
4. Que se ofrezcan servicios integrales de calidad en abastecimiento y logística.
5. Tener un impacto ambiental con el uso de biodiesel como bioenergía alternativa y colaborar positivamente con los problemas de abastecimiento de energía.

En base al estudio de mercado y el crecimiento futuro del sector transporte público, en la ciudad de Mexicali, se reporta un potencial de 527 unidades base diesel (SMTP, 2009) que administran diferentes empresas como ATUSA, las cuales buscan tener un crecimiento en el que dichas unidades deben cumplir con un servicio mucho más confortable y de modelos relativamente recientes para lo cual es necesario hacer un recorte de unidades obsoletas para así asegurar modelos no menores a 1998 así como también optimizar las rutas hacia la población objetivo (SMTP, 2009).

Modelo de evaluación

El modelo de evaluación fue realizado considerando el siguiente flujo expuesto en la siguiente figura.

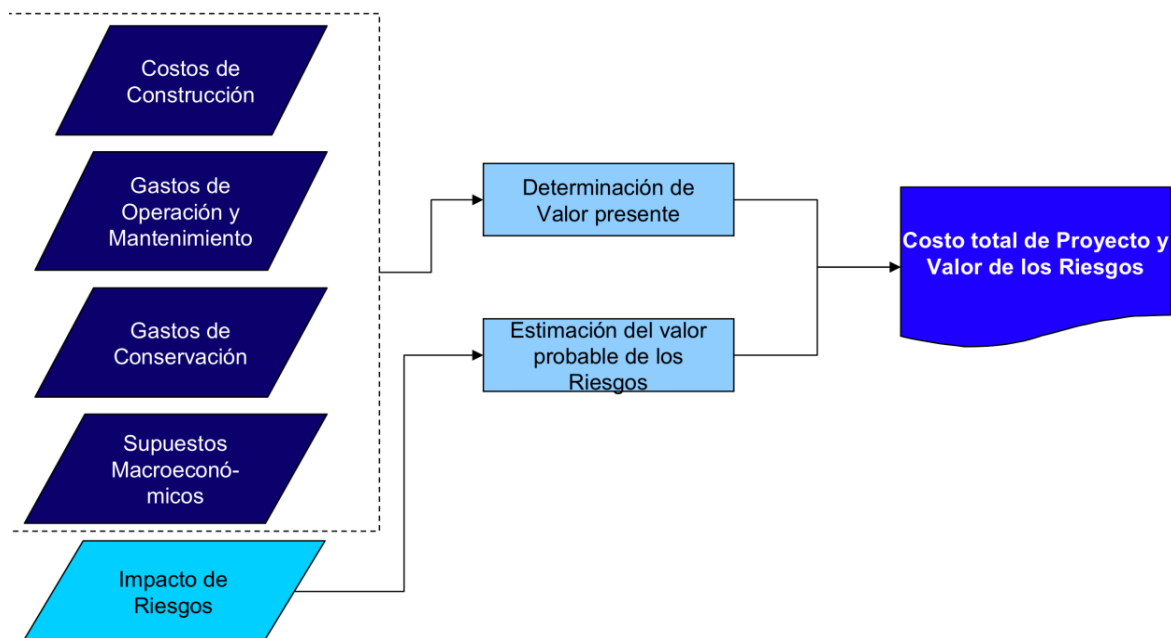


Figura 9. Modelo de Evaluación

Partiendo de esta base se utilizaron metodologías para evaluar proyectos como el Valor actual neto (VAN) que consiste en actualizar mediante una tasa de interés todos los flujos de caja futuros del proyecto, con el fin de conocerlos en valor presente o valor real que toma el dinero en el tiempo; la tasa interna de retorno (TIR), que se utiliza como indicador al cuantificar la eficiencia de una inversión determinada. Al contrario del VAN que entrega como resultado una magnitud, la TIR entrega un porcentaje que indica la rentabilidad que



proporciona un proyecto. Matemáticamente la TIR se calcula partiendo de la tasa de descuento o de interés que iguala la suma del VAN a 0, por tanto, la tasa de interés pasa a llamarse TIR. En donde los ingresos y los egresos deben ser calculados utilizando el VAN, de acuerdo al flujo de caja. Y por último, el Índice de Rentabilidad o relación beneficio-costos. Este criterio determina la rentabilidad que obtendríamos por cada unidad monetaria invertida.

Para el análisis económico se diseñó un modelo interactivo para establecer la producción anual que permita alcanzar un volumen de 2 millones de litros de biodiesel en el horizonte de cinco años. En base a lo anterior, se procedió a calcular el flujo de efectivo con el propósito de explorar la mejor opción de rentabilidad en términos de beneficio-costos para producir biodiesel destinado al sector transporte público de Mexicali.

La realización del estudio costo-beneficio social como parte de la justificación del proyecto y para el dimensionamiento de operaciones iniciales comparada con el incremento en demanda de los servicios el proyecto se simula basado en el funcionamiento futuro a partir de la operación inicial. Las unidades monetarias expresadas en el presente trabajo están dadas en pesos mexicanos.



Demanda anual

La demanda potencial de biodiesel para el sector transporte es el resultado de multiplicar el número de autobuses base diesel que se consideran factibles de integrar como clientes, por el promedio estimado de kilometraje recorrido por unidad al día. Esto representa el kilometraje de todas las unidades al día, que dividido por el rendimiento por kilómetro recorrido, arroja la demanda de diesel al día del sector. Este resultado se multiplica por la frecuencia de días trabajados y finalmente se obtiene la demanda anual de diesel. El volumen estimado fue calculado en apartados anteriores considerando el potencial energético del biodiesel sumando un total de 1.53 millones de biodiesel.

Respecto a la demanda potencial es directamente proporcional al número de unidades en la ciudad, sin embargo, se estimará una oferta proporcional a la capacidad del proyecto que se encuentre monitoreando el cumplimiento de satisfacer al sector transporte público.

Proyección de la oferta

Con las estimaciones anteriores se fundamenta el comportamiento de la oferta según el reporte del Instituto Nacional de Ecología para el diesel en Sector Transporte (INE, 1998), lo cual genera una planeación para el primer año, resultando los datos siguientes: biodiesel 700,000 litros; glicerina 44,000 litros, atacando en el mismo año 35% del

mercado potencial, al final de 4to año se cubre el 100% de la demanda del Sector Transporte Público. (Ver Figura 10 y Tabla 10).

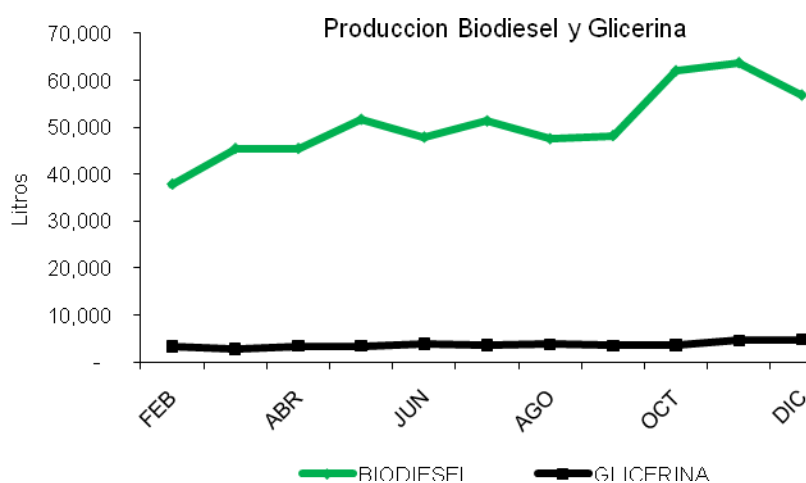


Figura 10. Producción de biodiesel y glicerina basada en el comportamiento de la demanda de diesel en Mexicali

Tabla 11. Estimación de metas en términos de producción, litros de biodiesel

Mercado potencial	2,000,000	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Meta de mercado		35.00%	1.300	1.350	1.350	1.206
Meta anual		700,000	910,000	1,228,500	1,658,475	2,000,000
Meta de producción promedio mes		58,333	75,833	102,375	138,206	166,667
Meta de producción promedio semana		14,583	18,958	25,594	34,552	41,667

Necesidades Financieras

La importancia de las expectativas y la reducción de la incertidumbre asociada a la inversión, se centra en las estimaciones del flujo de ingresos y egresos, considerando los cambios inherentes al nivel de precios (inflación) y el costo del dinero en el tiempo (tasa



de interés), que permite ajustar el comportamiento del flujo de efectivo ante los posibles cambios de las variables exógenas que rigen la economía del mercado.

Resumen de la inversión y capital de trabajo

Este proyecto requiere un volumen de financiación integral que se establece en los siguientes grandes grupos mostrada en la Tabla 12.

Tabla 12. Inversión total y sus diferentes conceptos

INVERSION TOTAL	\$ 6,277,473
Costos Fijos	\$ 5,550,863
I.-Obra Civil	\$ 181,000
II.-Maquinaria Y Equipo	\$ 1,352,663
III.- Oficina	\$ 148,200
IV.-Servicios Auxiliares	\$ 119,000
V.- Imprevistos	\$ 210,933
VI.- Inversión Diferida	\$ 124,035

Como resultados generales se observa que bajo las condiciones aquí propuestas se requiere una inversión de capital fijo de 5.5 millones de pesos. Los costos del terreno y construcción de la nave industrial se consideraron para una planta de 1,200 metros cuadrados que representa aproximadamente el 60% de la inversión total. Los precios fueron obtenidos por sondeo de zonas de Mexicali obteniendo un costo promedio de 250 dólares/metro cuadrado de construcción.

El costo de la maquinaria y equipo de operación representa el 22% de la inversión total, que incluye: reactor de transesterificación y los intercambiadores de calor, generador de



vapor, sistema de bombeo, tanques separadores y móviles, etc. Para este caso, el evitar el uso de material de acero inoxidable en la medida posible presenta grandes ventajas en los costos por inversión.

Adicionalmente a estos costos se tomaron en cuenta aquéllos que implican la constitución del proyecto en la elaboración de propuestas, asesoría financiera, técnica y legal, las cuotas de los asesores técnicos y legales de los bancos, ciertos seguros y análisis y revisión de todo el proyecto. El porcentaje de cobro de referencia para proyectos de construcción por lo general es del 4% del total de la inversión y equipamiento, dependiendo de la envergadura o magnitud del proyecto.

Corrida financiera

Egresos

La tabla 13 nos muestra los conceptos de inversión fija, diferida y capital de trabajo que se requiere en el primer año de operación.

Tabla 13. Inversión total y capital de trabajo requerido en el 1er. año de operación

INVERSION TOTAL	
I.-INVERSION FIJA	\$5,550,863
II.-INVERSION DIFERIDA	\$124,035
III.-CAPITAL DE TRABAJO	\$5,290,002
1.- Insumos reactor biodiesel	\$3,983,112
1.1- Aceite vegetal o grasa animal	\$3,612,000
1.2.- Metanol	\$334,219
1.3.- Hidróxido de sodio (Na-OH)	\$36,893
1.4.- Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	\$5,313
2.- Electricidad planta	\$79,298
3.- Combustibles	\$25,893
4.- Mano de Obra Directa	\$240,000
5.- Mano de Obra Directa Ejecutiva	\$360,000
6.- Mano de Obra Temporal	\$54,000
7.- Fletes	\$30,000
8.- Gastos por ventas y represent.	\$26,000
9.- Gastos Administrativos y Oficina	\$14,400
10.- Mantenimiento de Maq. Y Equipo	\$72,035
11.- Asistencia Técnica	\$5,000
12.- Seguros	\$27,754
13.- Laboratorio y control de calidad	\$144,000
VI.- IMPREVISTOS	\$228,511
SUBTOTAL	\$10,970,213

Como precio del aceite vegetal residual se tomó el escenario pesimista con un costo de 6.00 pesos/litro considerando que los empresarios pudieran ver un beneficio económico por la disposición del residuo. Algunas empresas lo venden desde un peso hasta los 4 pesos según estudio exploratorio a la industria restaurantera (Coronado, 2009).

Para el ácido sulfúrico se consideró un precio de 9 pesos el kilogramo. Es importante mencionar que las cotizaciones realizadas se basaron en insumos de uso industrial. Los precios de las demás materias primas fueron tomados como un valor promedio de los suministrados por varios proveedores locales.

Costo del biodiesel

La Figura 6 muestra cómo evoluciona el costo de biodiesel por litro en el horizonte comprendido de 5 años.

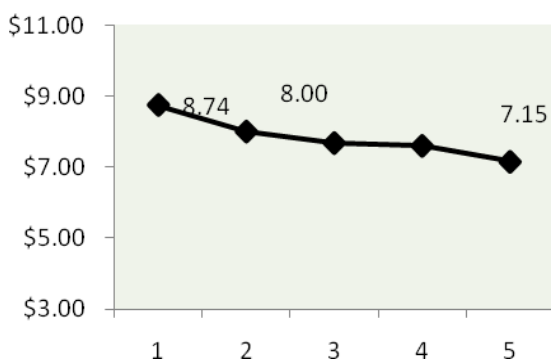


Figura 11. Evolución del costo por litro de biodiesel para el horizonte de 5 años

Considerando las fluctuaciones que ha tenido el precio del petróleo en México entre 70 a 80 dólares el barril. El precio del diesel se ha visto afectado por los altos costo de extracción y refinación, alcanzando 8.56 pesos el litro (PEMEX, Baja California, mayo 2010). En base a estos indicadores posiciona al biodiesel competitiva en el mercado energético como fuente alterna.



Ingresos

Para mayor comprensión de la corrida financiera aquí expuesta se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Beneficio 1: Ingresos por bonos de carbono; 15 dólares la tonelada por reducción de emisiones de CO₂.
- Beneficio 2: Costos evitados por mantenimiento de la red de drenaje y alcantarillado.
- Factor inflación promedio anual de 4.5
- No se consideró apoyo fiscal.

A continuación se muestran los ingresos anuales por biodiesel y beneficios totales por cada rubro.

Tabla 14. Tabla de ingreso y/beneficios anuales

INGRESOS	AÑO				
	1	2	3	4	5
BIODIESEL	\$ 4,816,000	6,938,568	9,741,749	11,490,269	21,916,623
GLICERINA	134,400	218,400	294,840	336,000	560,000
BENEFICIO 1	317,063	317,063	324,672	324,672	324,672
BENEFICIO 2	570,000	570,000	570,000	570,000	570,000
TOTAL	5,837,463	8,044,031	10,931,261	12,720,941	23,371,295

Amortización

Como se podrá apreciar el proyecto aquí propuesto tiene un valor mayor al costo del capital a invertir, el proyecto muestra una capacidad de generar flujos de efectivo futuros, suficientes para amortizar en 46 meses la inversión según se ilustra en la figura 12. El flujo de efectivo restante es adecuado para cubrir los compromisos de deuda con oportunidad para proporcionar una tasa de rentabilidad aceptable.

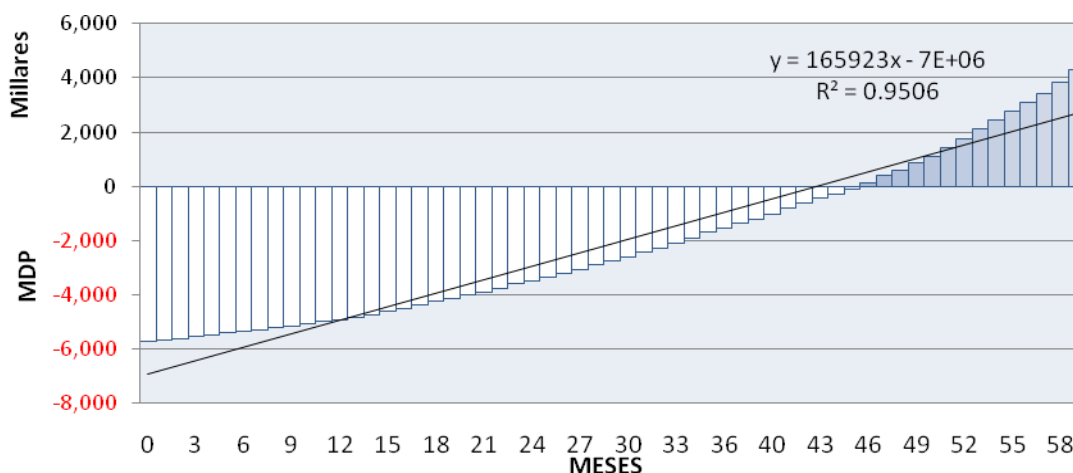


Figura 12. Flujo de efectivo y tiempo de recuperación

Resultados financieros

La tabla 15 se presentan indicadores tales como el índice de rentabilidad que muestra la relación de inversión con su rendimiento, la estimación realizada arroja un índice superior a la unidad, que se interpreta como el ingreso adicional. El punto de equilibrio representa momento en que la inversión no arroja ni pérdidas ni ganancias

Tabla 15. Indicadores de rentabilidad

Indicadores socioeconómicos	Valor
Tiempo de recuperación	46 meses
Índice de rentabilidad (IR) B/C	1.02
Flujo en valor actual neto (VAN) 5to año	3, 624,125
La tasa interna de rendimiento (TIR) 5to año	27.8%

El plan de negocios presenta condiciones óptimas para ser financiado, su rentabilidad se fundamenta en las estimaciones elaboradas bajo criterios cuantitativos y cualitativos con rigor necesario para dictaminar la factibilidad tanto técnica como económica del proyecto, como lo indican los márgenes generados por el flujo de efectivo mostrados en la figura 13, calculados en condiciones económicas reales.

Rentabilidad:

1. **El tiempo de recuperación (TR)** explica que el proyecto mantiene su viabilidad al incremento del costo del dinero generado por el flujo de efectivo, al aplicar una tasa de descuento que parte de su punto óptimo para ubicarse con un tiempo de recuperación de 46 meses, lo cual lo hace factible para solventar y amortiguar la inversión y a partir de ahí considerar ganancias o utilidades bien remuneradas además que en este punto es donde los ingresos totales recibidos se igualan a los costos asociados con la venta de un producto, por lo tanto, no reporta utilidades o pérdidas.
2. **Relación beneficio/costo (B/C) o índice de rentabilidad (IR)** del proyecto es 1.02 entendido como el rendimiento que genera cada peso invertido en el proyecto



descontado a valor presente, por tanto, el proyecto es aceptable ya que por cada peso invertido se recupera 0.02 pesos adicionales.

3. **El valor actual neto (VAN)** con una tasa de interés bancaria de 12 %, establece una corriente de beneficios positivos, generada por la inversión del orden de \$3,624,125 pesos al final de un flujo de ingresos netos de 60 meses.
4. **La tasa interna de rentabilidad (TIR)** se calculó en base al flujo de efectivo neto que generará el proyecto, resultando una rentabilidad de 27.8%, por tanto el proyecto se considera financieramente viable, debido que su TIR es superior en 15.8 puntos sobre la tasa de interés anual de 12%.

Análisis de sensibilidad

Riesgo:

1. El análisis de sensibilidad sugiere un amplio margen de operación, los efectos causados por la magnitud de cambio de las variables ofrecen un nivel de certidumbre ante posibles variaciones, se debe tener un debido cuidado con el manejo de los costos, sobre todo los costos variables.
2. Respecto a los riesgos de índole ambiental el proyecto se clasificó bajo los términos de la primera categoría, (conceptualizado expresamente para mejorar y conservar la calidad del ambiente), siendo este uno de los atributos que el proyecto



proveerá a la economía de los hogares de Mexicali, lo cual provoca una valorización de impacto ambiental favorable.

Con base en la evidencia derivada del análisis de rentabilidad y principalmente por los resultados del VAN y la TIR, se concluye que llevar a cabo la realización del proyecto es rentable y por lo tanto, se recomienda su ejecución, sustentado bajo las condiciones anteriormente expuestas. Además se está aprovechando y revalorizando materia prima que puede, en su caso, ser un factor bien remunerado por el impacto ambiental y la solución de problemáticas adyacentes. Su factibilidad en implementación está comprobada técnicamente siguiendo algunas propiedades y pruebas de calidad en manejo de rendimientos.

Aunado a lo anterior, se recomienda que el proyecto en su fase de puesta en marcha se acompañe de un programa de capacitación en los aspectos administrativos y financieros, con el propósito de fortalecer la disciplina financiera y el liderazgo en los procesos de innovación necesarios.

RESULTADOS

Los resultados anteriormente expuestos arrojan indicadores desde el punto de vista jurídico, económico, técnico, energético y ambiental que sustentan las bases principales para el desarrollo de este tipo de proyectos que empujen el detonante de inversión innovadora.



En el aspecto jurídico dentro del marco legislativo podemos observar que la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos pretende dar un avistamiento al uso de fuentes de energía renovable. Se recomienda que se de mayor énfasis en el uso de bioenergéticos de segunda y tercera generación. Así como también es importante establecer un mecanismo que una a la cadena de suministro para el abastecimiento de biodiesel hacia los nichos de mercado con mayor importancia como es el caso del sector transporte público. Respecto al plan de financiamiento se sugiere que se realice mediante el esquema de Asociación Público-Privada.

Desde el punto de vista energético resulta favorable satisfacer la demanda del sector transporte público. Así como también valorizar el potencial energético de las diferentes materias primas residuales.

Las implicaciones que trae consigo el uso de biodiesel como “energía verde” tiene repercusiones positivas de manera general en el medio ambiente sobre todo en el combate de la mala calidad del aire que se presenta en la ciudad de Mexicali.

Desde el punto de vista económico resulta rentable establecer una planta de producción ya que la relación costo-beneficio cuantificado arroja indicadores ventajosos hacia la sociedad, además de reactivar la economía por ser un concepto innovador y emprendedor.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación ha llevado a cabo un estudio integral, examinando los principales indicadores distintivos de innovación tecnológica en la rama de biocombustibles. El propósito de ello ha sido descubrir cuáles son las pautas que definen el comportamiento y la situación actual en el Sector Transporte Público, en cuanto al consumo de combustible, abastecimiento de materia prima, y por otro lado utilizar herramientas metodológicas que permitan sustentar los diferentes aspectos o escenarios de factibilidad técnica y económica.

Las respuestas a los planteamientos expuestos han sido analizadas a lo largo del trabajo, no obstante en este último apartado y a modo de conclusión enseguida se resumen los resultados más relevantes obtenidos:

1. La seguridad energética es para México un objetivo central, debido a que nuestro consumo de energéticos depende, principalmente, del petróleo y del gas natural. Por ello, y con el objetivo de reducir los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles, es conveniente que la matriz energética incluya una mayor participación de fuentes renovables.
2. En base al análisis y desarrollo estadístico de los datos se obtiene un indicador de éxito para el Sector transporte público en la ciudad de Mexicali en la utilización de



la mezcla biodiesel (B20) a partir del aceite vegetal residual, en materia de abastecimiento, impactos positivos tanto en la no dependencia de combustibles fósiles, revalorización, disposición de residuos y menor impacto de los gases de efecto invernadero que mejora la calidad del aire de la ciudad de Mexicali.

3. Desde el punto de vista técnico, los procesos de obtención de biodiesel están basados en tecnologías probadas que garantizan un combustible líquido que cumple con los requerimientos de calidad planteados en las normas vigentes correspondientes.
4. Por otra parte de acuerdo al modelo financiero y el sistema de costeo es factible económicamente y se recomienda la ejecución del proyecto de acuerdo a los indicadores de rentabilidad expuestos.

Antes de concluir la investigación cabe mencionar algunas posibles líneas de investigación sobre cuestiones vinculadas a un proceso integral.

Es necesario profundizar en los factores que influyen en el desarrollo o ejecución de proyectos de investigación creando una plataforma que busque enlaces de triple hélice donde el Sector Gobierno, Sector Productivo y Sector Educativo formen una sinergia para coadyuvar en la promoción, difusión e implementación de proyectos relacionados con el uso y desarrollo de tecnologías energéticas potencialmente sustentables.



El ámbito de los combustibles en Mexicali muestra un comportamiento tradicional, sin diversificación e innovación significativa, siendo prioritario aprovechar los recursos y apoyos contemplados en Ley de Promoción y Desarrollo Bioenergéticos y así como los fondos institucionales (CONACYT) para crear nuevas alternativas que den viabilidad al mercado del biodiesel.

REFERENCIAS

- ASTM (2008). "American Standard for testing and materials." ASTM D6751-08.
- Bhatti, H. N. and et-al. (2008). "Acid and Base Catalyzed Transesterification of Animal Fats to Biodiesel." J. Chem. Chem. Eng. **27**(4): 41-48.
- Canacki, M. and V. Gerpen (2001). " Biodiesel Production from oils and fats with high free fatty acids." American Society of Agricultural Engineers **1429**.
- CONAPO, Proyecciones de la población de México 2005-2050, Municipales www.conapo.gob.mx
- Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP 42, Fifth Edition. U. S. EPA, U.S. EPA (1995).. Volume I: Stationary Point and Area Sources INE-SEMARNAT , Z.
- Coronado M. A.(2009) Estudio Exploratorio para la caraterizacion de los aceites vegetales residuales de la industria restaurantera, Instituto de Ingeniería, UABC.
- Gamboa Montejano Claudia (2009). Investigadora Parlamentaria. "BIOCOMBUSTIBLES" Estudio Teórico Conceptual, Iniciativas Presentadas en la LX Legislatura, Derecho Comparado y Opiniones especializadas.
- IIDEPROQ, Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos U. M. d. S. (2007). "Technological Adjustment of Biodiesel Production."
- INE. (1998). "Inventario de emisiones para Mexicali." from <http://www.ine.gob.mx/publicaciones>.



- INEGI, 2007. Estadística de Sacrificio de Ganado en Rastros Municipales (ESGRM)
- María M. Solís P. y Jaime E. Decerega, 2007. Asesores Técnicos de la Secretaría Técnica de Infraestructura Pública. Realidad de Panamá Frente al Uso de las Fuentes Energéticas no Renovables. Revista DEBATE
- Mendez, M. (2006). Feasibility Study of a Biodiesel Production Plant from Oilseed, University of Strathclyde Glasgow 1-117.
- Meher LC, S. V., Naik SN (2006). "Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. Renewable & sustainable energy reviews." **10**: 248-268.
- Molina, C. M. (2005). Evaluación costo beneficio de la mejora en la calidad de los combustibles automotrices en el país.
- NREL (2009). Biodiesel Handling and Use Guide National Renewable Energy Laboratory.
- Quintanilla, A. and D. Fischer (2003). La energía eléctrica en Baja California y el futuro de las renovables: una visión multidisciplinaria. Mexicali, UABC.
- SAGARPA (2007).
- SIAC 5 (2004). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México
- SENER (2007). Programa Especial para el aprovechamiento de Energías Renovables
- SEDESOL (2001). "Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las ciudades medias mexicanas. Manual Normativo. Manual de Evaluación Socioeconómica."
- SENER (2007). Balance de Energía Nacional. S. d. Energía.
- SMTP (2009). "Inventario de unidades, rutas y concesionarias." Sector Municipal de Transporte Público de Mexicali.
- Sosapavón, F. (1989). El caso de la energía eléctrica.



- Tzintzun Cervantes Maria Gpe, Rojas Bracho Leonora (2007). Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas. México.
- UABC-CCBRES, M. A. R. (2003). "Análisis de la relación del PM_{10} con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California: Un estudio de series de tiempo."
- UABC (2006). "Planificación energética de las ciudades de Mexicali y Tijuana, Baja California."
- Van Gerpen, J., R. Pruszko, et al. (2006). Building a succesful biodiesel business, Biodiesel Basics.
- Y. Zhang a, M. A. D. a., D.D. McLean (2002). "Biodiesel production from waste cooking oil: Economic Assessment and Sensitivity Analysis " **1**: 230-240.