

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“Indicadores energéticos de Baja California”

***TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA***

PRESENTA

Laura Janet Pérez Pelayo

DIRECTOR

Gisela Montero Alpírez

CODIRECTOR

Héctor Enrique Campbell Ramírez

Mexicali, B. C.

Enero de 2013

Dedicatoria

Le agradezco a CONACYT por la oportunidad que me da de seguirme preparando y contribuir a mi país, a mis directores de tesis la Dra. Gisela Montero y el Dr. Héctor E. Campbell por brindarme su apoyo y experiencia a través de sus enseñanzas, así como a mis compañeros del posgrado que me han recibido como parte del equipo de trabajo: Marcos Coronado, Ramón Ayala, Armando Pérez, Conrado García, Iliana Aguilar, Angel León, Lydia Toscano, Daniela Montes y Juan Carlos Tapia. A mis padres Carmen Pelayo y Rodolfo Pérez por sus consejos y motivación. A mis abuelos, dos grandes personas, que nos dejaron su ejemplo de perseverancia y constancia. A Antonio Chávez por haberme apoyado en todo momento. Y especialmente a Dios por haberme permitido cumplir un reto más en mi vida.

Contenido

Listado de figuras	v
Listado de tablas	vii
Resumen	viii
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Marco teórico	9
2.1 Perfil energético de México	9
2.2 Uso de suelo y actividad económica por municipio	10
2.3 Sistema ferroviario	14
2.2 Índice de Desarrollo Humano	15
2.3 Energías renovables	17
2.4 Indicadores energéticos	28
2.5 Antecedentes	30
2.6 Marco Legal	36
Capítulo 3. Metodología	38
Capítulo 4. Resultados y discusiones	44
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	67
Referencias	68
Abreviaturas y siglas	71
Anexos	72

Listado de figuras

Figura 1. Capacidad instalada por tipo de planta en Baja California, 2011	2
Figura 2. Importaciones de petróleo y derivados del puerto de Salina Cruz a Rosarito	4
Figura 3. Distribución del país por regiones	5
Figura 4. Árbol de problemas de la inaccesibilidad de información de indicadores energéticos	6
Figura 5. Demanda Nacional de petrolíferos por sector del periodo 2000 a 2011	10
Figura 6. Mapa de Baja California con división política y principales cifras de INEGI	11
Figura 7. Mapa del municipio de Ensenada y principales cifras de INEGI	11
Figura 8. Mapa del municipio de Mexicali y principales cifras de INEGI	12
Figura 9. Mapa del municipio de Playas de Rosarito y principales cifras de INEGI	13
Figura 10. Mapa del municipio de Tijuana y principales cifras de INEGI	13
Figura 11. Mapa del municipio de Tecate y principales cifras de INEGI	14
Figura 12. Mapa del Sistema Ferroviario Mexicano	15
Figura 13. Componentes del Índice de Desarrollo Humano	16
Figura 14. Índice de Desarrollo Humano. Ubicación de la entidad en el contexto nacional	17
Figura 15. Capacidad potencial eólica en Baja California	19
Figura 16. Ubicación del campo geotérmico de Cerro Prieto	20
Figura 17. Irradiación solar diaria promedio en horas pico en México	22
Figura 18. Rangos de Marea	26
Figura 19. Metodología para la construcción de indicadores	40
Figura 20. Porcentaje de viviendas sin electricidad	48
Figura 21. Uso de la energía per cápita	50

Figura 22. Consumo de electricidad por vivienda en el sector residencial	52
Figura 23. Consumo de electricidad per cápita en el sector residencial	54
Figura 24. Consumo de electricidad per cápita en el sector industrial	56
Figura 25. Producto Interno Bruto per cápita	58
Figura 26. Uso de la energía por unidad del PIB	60
Figura 27. Consumo de diesel en el sector transporte	62
Figura 28. Consumo de gasolina en el sector transporte	64
Figura 29. Emisiones de GEI históricas del sector transporte en Baja California.	67

Listado de tablas

Tabla 1. Importaciones de petróleo y derivados del puerto de Salina Cruz a Rosarito	3
Tabla 2. Potencial energético estatal a partir de fuentes renovables	27
Tabla 3. Clasificación de los indicadores de acuerdo a la dimensión	30
Tabla 4. Dimensión social	31
Tabla 5. Dimensión económica	32
Tabla 6. Dimensión ambiental	34
Tabla 7. Lista de indicadores energéticos propuestos para el Estado de Baja California.	40
Tabla 8. Lista de los indicadores calculados y sus unidades	44
Tabla 9. Porcentaje de viviendas sin electricidad	47
Tabla 10. Uso de la energía per cápita	49
Tabla 11. Consumo de electricidad por vivienda en el sector residencial	51
Tabla 12. Consumo de electricidad per cápita en el sector residencial	53
Tabla 13. Consumo de electricidad per cápita en el sector industrial	55
Tabla 14. Producto Interno Bruto per cápita	57
Tabla 15. . Uso de la energía por unidad del PIB	59
Tabla 16. Consumo de diesel en el sector transporte	61
Tabla 17. Consumo de gasolina en el sector transporte	63
Tabla 18. Emisiones de GEI en base al consumo energético total en Baja California	65
Tabla 19. Emisiones de GEI históricas en producción y consumo de electricidad en Baja California	65
Tabla 20. Emisiones de GEI históricas del Sector Transporte en Baja California	66
Tabla 21. Emisiones de GEI históricas del sector transporte en Baja California	68
Tabla 22. Porcentaje de sustitución del diesel consumido por los camiones de pasajeros	68

Resumen

La energía es un recurso a través del cual la sociedad satisface muchas de sus necesidades y eleva su calidad de vida. Es por ello que el Estado de Baja California requiere hacer una planificación exhaustiva de los recursos naturales con los que cuenta, para tomar las acciones necesarias con el fin de satisfacer la demanda energética.

En Baja California existe una gran demanda de electricidad del sector residencial e industrial. La mayor parte de la demanda del sector residencial se concentra en la capital, Mexicali. Esto se debe a su clima extremo, cuya población se ve en la necesidad de contar con un clima artificial durante el periodo de verano, a diferencia de los municipios restantes. Para satisfacer la demanda de energéticos, es necesario transportar combustibles en buque tanques de la Terminal de Almacenamiento y Reparto desde Salina Cruz, ubicada en el Estado de Oaxaca hasta el puerto de Rosarito, debido a que Baja California no cuenta con recursos petrolíferos.

La Secretaría de Energía reporta sus estadísticas de acuerdo con regiones integradas por varios Estados, así entonces la región Noroeste incluye Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. La región Noroeste tiene una capacidad instalada para la generación de electricidad de 6,748 MW con diversos tipos de tecnologías y 1,191 estaciones de servicio de gasolina y diesel.

Si bien los datos agrupados por regiones son de gran utilidad, en algunas ocasiones es necesario manejar información a nivel estatal. Sin embargo, la mayoría de la información energética estadística necesaria no está disponible para el público en general por diversas causas entre las

que destacan: privacidad en los procesos, poca cooperación de las empresas y falta de comunicación. Esto ocasiona que no se cuente con indicadores que permitan tener un control del uso de la energía, así como de sus emisiones, lo que trae una serie de consecuencias que llevan a una disminución de la calidad de vida de la población.

Debido a la importancia y necesidad de contar con información de carácter energético disgregada a nivel municipal o estatal, que pueda ser utilizada para llevar a cabo proyectos gubernamentales, así como prospectivas del sector energético que permitan llevar un control del uso de la energía, se realizó este trabajo. Esta tesis consiste en el cálculo de indicadores energéticos de Baja California, los cuales fueron determinados tomando como referencia la metodología de indicadores para un desarrollo sustentable propuesta por la Agencia Internacional de Energía Atómica en 1999, así como la información estadística disponible de la región, de organismos gubernamentales como INEGI, SENER, CFE, SIAP entre otros. Estos indicadores muestran valores tales como el consumo de gasolina per cápita, consumo de electricidad por unidad de PIB y viviendas sin servicio de electricidad correspondientes al Estado.

Capítulo 1. Introducción

Planteamiento del problema

Baja California (BC) forma parte de una península situada al noroeste de México y al sur del Estado de California (CA), Estados Unidos, así como el Océano Pacífico en su costa oeste y el Mar de Cortés en la este; posee dos tipos de regiones climáticas: la primera con un clima mediterráneo y la segunda con extremoso semiárido divididas por las sierras San Pedro Mártir y la Rumorosa [1].

En Baja California existe una gran demanda de electricidad del sector residencial e industrial. La mayor parte de la demanda del sector residencial se concentra en la capital, Mexicali. Esto se debe a su clima extremoso, cuya población se ve en la necesidad de contar con un clima artificial durante el periodo de verano, a diferencia de los municipios restantes. Una casa habitación del Estado en promedio, llega a consumir 252 kWh de electricidad mensualmente.

Por otra parte, la demanda del sector industrial se presenta en las principales ciudades del Estado, Mexicali y Tijuana, que al ubicarse en la frontera con Estados Unidos y contar con una mano de obra de calidad a bajo costo presenta un alto desarrollo industrial. En 2010, la gran industria de acuerdo a la clasificación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) consumió en promedio 1,355,118 kWh mensualmente. En resumen, los sectores residencial e industrial del Estado consumieron 8,024 GWh, lo que corresponde al 89.7% del consumo de energía eléctrica anual [2].

El sistema de distribución de energía eléctrica de Baja California se encuentra aislado del resto de la República Mexicana por lo que cuenta con plantas de ciclo combinado (817 MW), geotérmica (720 MW), termoeléctrica (320 MW), turbogás (313 MW), energía eólica (10 MW), y de ciclo combinado administradas por productores independientes (510 MW), como se muestra en la figura 1. Además, la CFE tiene dos conexiones de 230 kV con la compañía San Diego Gas & Electric, la primera se enlaza de la ciudad de Tijuana a Miguel, CA y la segunda de Mexicali a Imperial Valley, CA con las que existe un mercado de importación y exportación de electricidad [3].

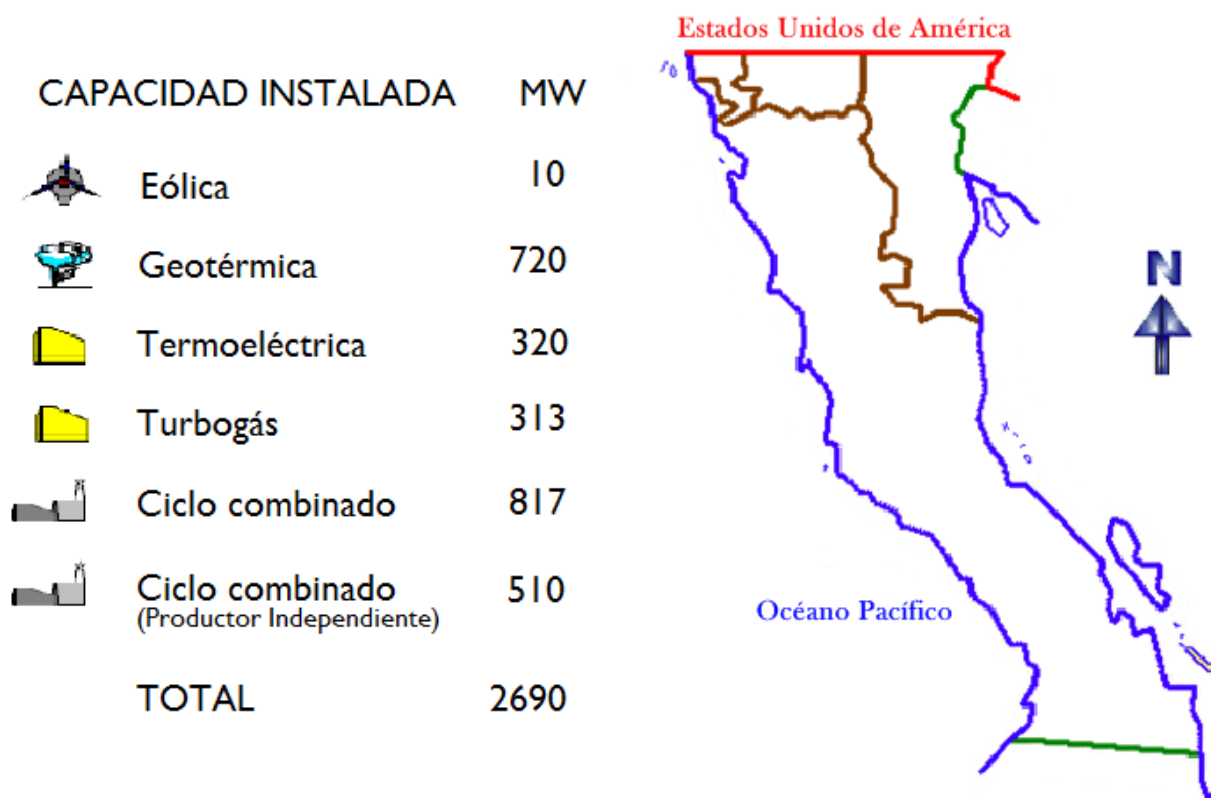


Figura 1. Capacidad instalada por tipo de planta en Baja California, 2011 (Elaboración propia).

Baja California no cuenta con recursos petrolíferos, por lo que gasolinas, diesel, combustóleo y el gas licuado de petróleo se transportan en buque tanques de la TAR (Terminal de Almacenamiento y Reparto) desde Salina Cruz, ubicada en el Estado de Oaxaca hasta el puerto de Rosarito como se muestra en la tabla 1 y figura 2 [4]. Al 2011, las importaciones de petróleo y derivados tuvieron un crecimiento de 1,652,614 toneladas respecto al 2003 con una tasa de crecimiento anual del 26.35%.

Tabla 1. Importaciones de petróleo y derivados del puerto de Salina Cruz a Rosarito (Anuarios Estadísticos de Movimientos Portuarios).

Año	Importación (Toneladas)
2003	229,203
2004	142,747
2005	1,295,198
2006	1,547,963
2007	2,419,330
2008	2,626,800
2009	1,708,067
2010	1,778,210
2011	1,881,817

En 2009, por cada barril de gasolina consumido en México, el 43.6% se importó y el resto se produjo en el país [5]. El gas natural consumido en Baja California es importado a través de gasoductos de Estados Unidos de América y de la terminal de Energía Costa Azul de Sempra, ubicada 23 km al norte del municipio de Ensenada, ya que el Estado no se encuentra conectado al Sistema Nacional de Gasoductos.



Figura 2. Importaciones de petróleo y derivados del puerto de Salina Cruz a Rosarito (Anuarios Estadísticos de Movimientos Portuarios).

El consumo de petrolíferos ha tenido grandes impactos económicos, sociales, políticos y ambientales en el país, es el medio principal a través del cual la sociedad satisface muchas de sus necesidades y eleva su calidad de vida. Es por ello que el Estado requiere hacer una planificación exhaustiva de los recursos naturales con los que cuenta versus lo que se demanda.

La Secretaría de Energía reporta sus estadísticas de acuerdo con regiones integradas por varios Estados, así entonces la región Noroeste incluye Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa como se muestra en la figura 3. La región Noroeste tiene una capacidad instalada para

la generación de electricidad de 6,748 MW con diversos tipos de tecnologías y 1,191 estaciones de servicio de gasolina y diesel [6].



Figura 3. Distribución del país por regiones (SENER).

Si bien los datos agrupados por regiones son de gran utilidad, en algunas ocasiones es necesario manejar información a nivel estatal. Sin embargo, la mayoría de la información energética estadística necesaria no está disponible para el público en general, por diversas causas entre las que destacan: privacidad en los procesos, poca cooperación de las empresas y falta de comunicación. Esto ocasiona que no se cuente con indicadores que permitan tener un control del uso de la energía, así como de sus emisiones, lo que trae una serie de consecuencias que llevan a una disminución de la calidad de vida de la población tal y como se ilustra en el árbol de problemas de la figura 4.

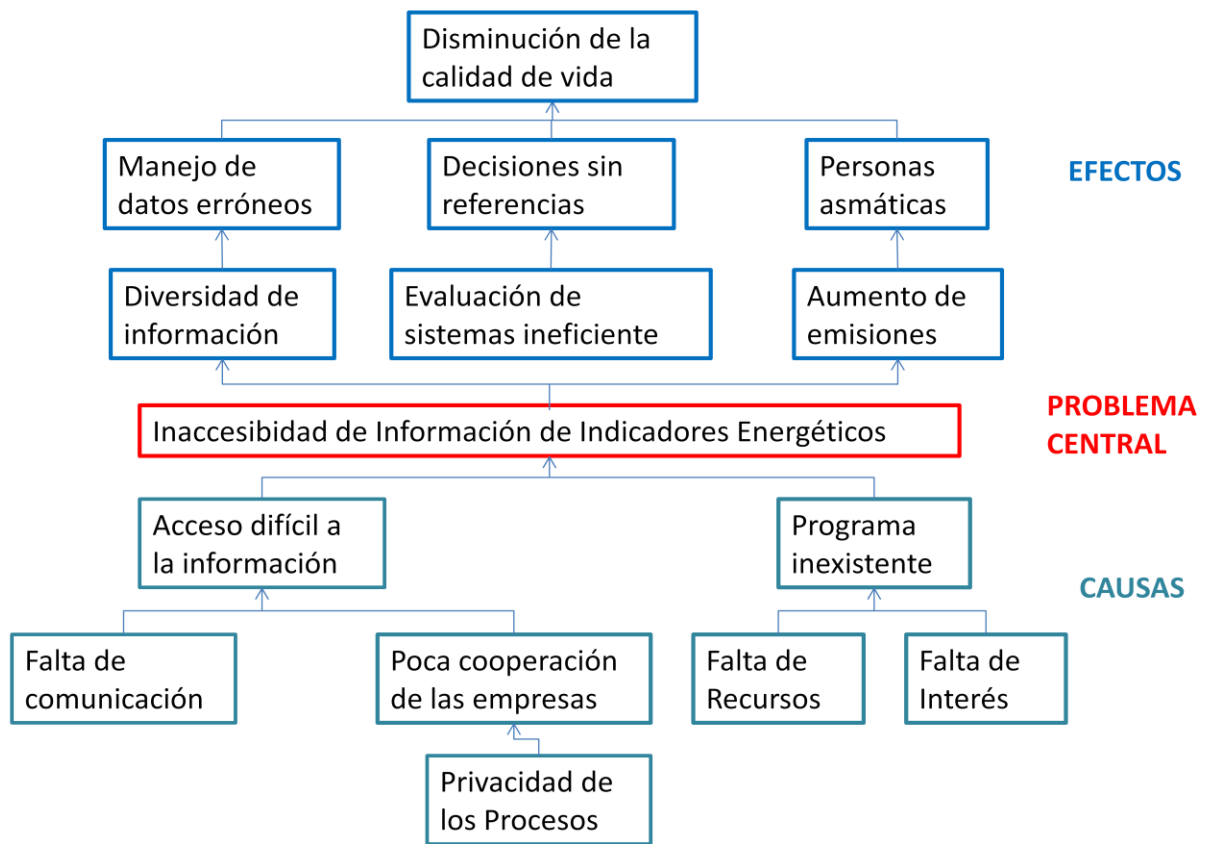


Figura 4. Árbol de problemas de la inaccesibilidad de información de indicadores energéticos (Elaboración propia).

Es así que partiendo de la información agrupada, se planteó el cálculo de valores propios del Estado, como objetivo general de esta investigación.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Calcular indicadores energéticos para Baja California, México, considerando parámetros sociales, económicos y ambientales, así como la disponibilidad de la información, generando una base de variables energéticas disgregada a nivel estatal o municipal que permitan su construcción, los cuales funcionarán como una herramienta de medición y control del uso de la energía.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ❖ Incrementar la transparencia y calidad de los datos referentes al uso de la energía.
- ❖ Ofrecer un panorama de la evolución temporal de los valores de la energía.
- ❖ Servir como una herramienta de planificación y control del uso de energía.
- ❖ Determinar variables energéticas a partir de fuentes de información de instituciones formales.

El propósito de este trabajo consistió en el cálculo de indicadores energéticos para Baja California, México. Tales indicadores se determinaron a partir del análisis del uso de la energía de la Región Noroeste, según la clasificación reportada por la Secretaría de Energía. Se definieron los indicadores de mayor relevancia tomando en cuenta el ámbito social, económico y ambiental, así como la disponibilidad de la información. Entre los aspectos considerados para el cálculo de los indicadores se encuentran los datos siguientes: demanda de combustibles,

número de habitantes, producto interno bruto y salarios mínimos utilizados en el sector servicio. Se espera que tales indicadores sean de utilidad para profesionistas, universidades y estancias gubernamentales, para tomar decisiones acordes a la realidad en el uso de la energía y en el control de emisiones.

Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se abordan cada uno de los temas que permitieron el desarrollo de los indicadores energéticos y cuya metodología se describe en el capítulo 3.

2.1 Perfil energético de México

En 2010, el 76.6% de la capacidad instalada en el sector eléctrico de México, correspondió a tecnologías que utilizan combustibles fósiles como gas natural, combustóleo, carbón y diesel, mientras que el 23.4% restante a fuentes renovables, de las cuales destacan las energías hidráulica, eólica, solar, biomasa, mini-hidráulica y bioenergética, estas últimas ayudan a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático [7]. En 2011, SENER reportó que la demanda nacional de petrolíferos fue de 1,428.5 Mbdpce (ver figura 5).

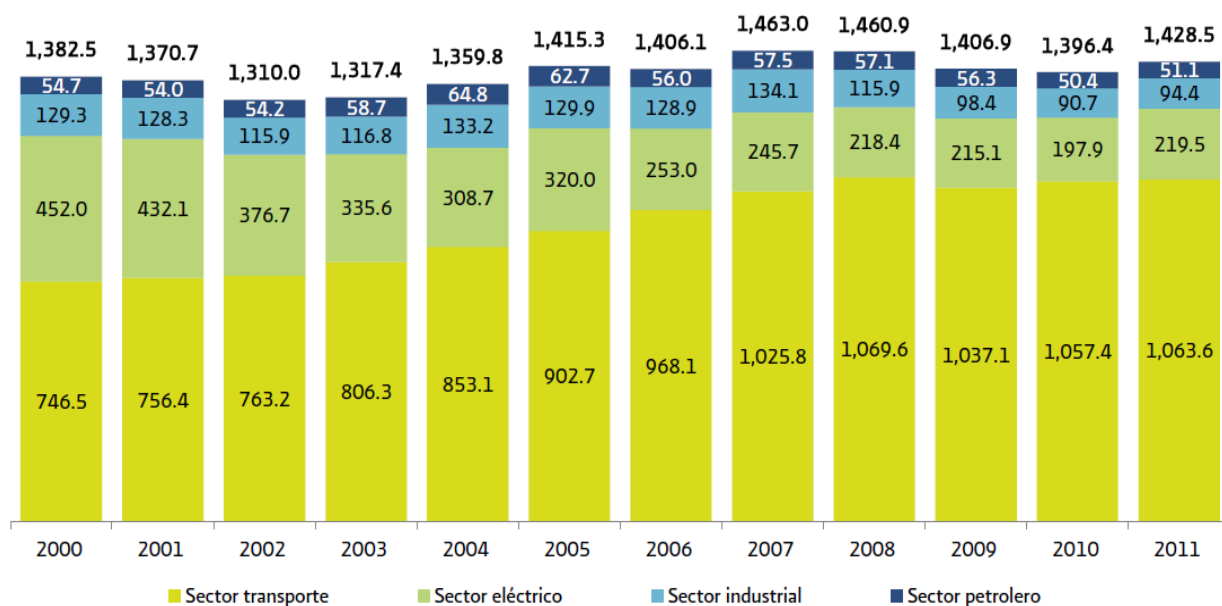


Figura 5. Demanda nacional de petrolíferos por sector del periodo 2000 a 2011 (SENER)
(Miles de barriles de petróleo crudo equivalente).

El sector transporte fue el más demandante con una tasa de crecimiento anual del 3.3% en el periodo 2000-2011.

En el consumo de combustibles del sector transporte se consideran: la gasolina que consume del transporte particular, el diesel para el transporte de carga, la turbosina usada en transporte aéreo y el combustóleo para uso de ferrocarriles y transporte marítimo.

El sector transporte fue el mayor consumidor y representó el 74.5% de la demanda de petrolíferos. Al incrementar la demanda de combustible, aumentaron las importaciones 7% respecto al año anterior, donde destacan las gasolinas con más del 50%. Esto se originó en gran medida por el requerimiento del parque vehicular ya que por cada vehículo de diesel en el país, existen 24 vehículos con motor operado por gasolina.

2.2 Uso de suelo y actividad económica por municipio

Según cifras del Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 2010, Baja California cuenta con una superficie continental es 71,445.88 km² y está poblada por 3,155,070 habitantes, es decir tiene una densidad de 44 habitantes por km² y está constituida por 5 municipios: Ensenada, Mexicali, Playas de Rosarito, Tecate y Tijuana (ver figura 6). El producto interno bruto del Estado basado en precios 2003 fue de \$241, 835,254 miles de pesos que corresponde al 2.9% del PIB Nacional [8].



Figura 6. Mapa de Baja California con división política y principales cifras de INEGI (Elaboración propia).

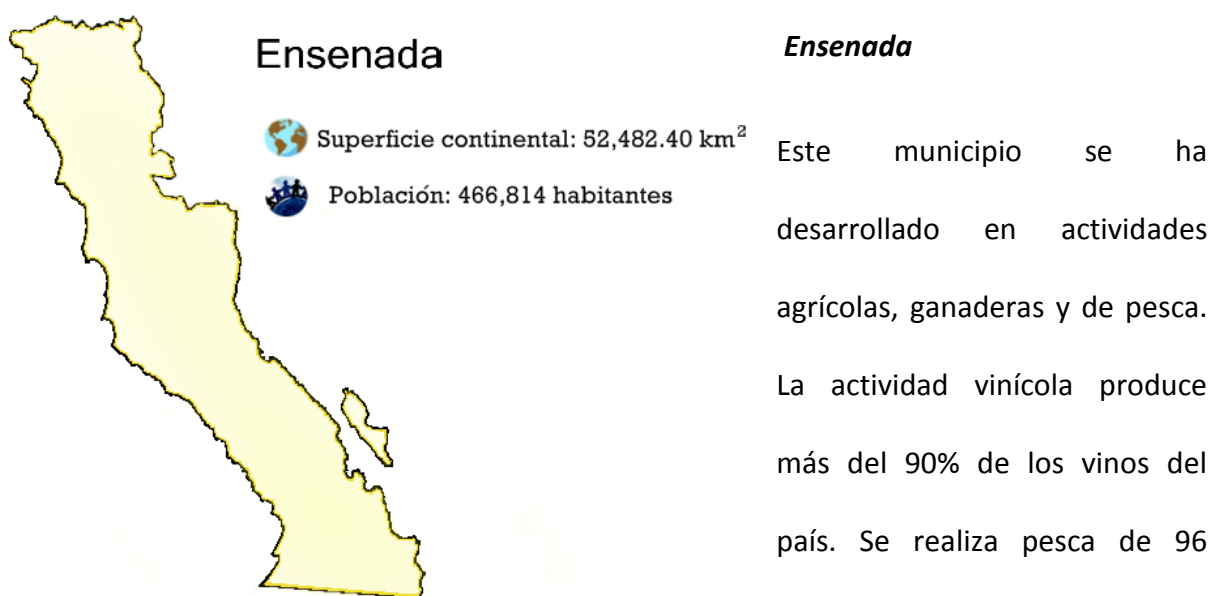


Figura 7. Mapa del municipio de Ensenada y principales cifras de INEGI.

especies oficialmente reconocidas como: erizo, camarón, abulón y langosta. Su principal fuente de ingresos es el turismo y la industria pesquera. La agricultura del municipio es escasa pero cuenta con cultivos de valor agregado como la fresa. Su superficie territorial es 52,482.40 km², con una población de 466,814 habitantes, por lo que su densidad poblacional es de 9 habitantes por km² (ver figura 7).

Mexicali

Mexicali creció principalmente por la actividad agrícola de su valle, donde se realiza la agricultura de riego, sus principales cultivos son: trigo, cebada y algodón.



Figura 8. Mapa del municipio de Mexicali y principales cifras de INEGI.

En la ganadería, los bovinos de engorda y lecheros ocupan el primer lugar, seguidos de las aves de corral. La industria maquiladora en Mexicali fue pionera en México, destacan las industrias de alimentos, automotriz, metal, mecánica, envases de vidrio, electrónica, plástico y textil. Su superficie territorial es 14,541.44 km² y su población es 936,826 habitantes como se muestra en la figura 8. La densidad poblacional es de 64 habitantes por km².

Playas de Rosarito

El sector turístico ha tenido gran desarrollo debido a sus condiciones climáticas y geográficas. Contribuye con el 34.4% de los ingresos que percibe el Municipio.

Playas de Rosarito



Figura 9. Mapa del municipio de Playas de Rosarito y principales cifras de INEGI.

En el sector industrial destaca la Central Termoeléctrica Benito Juárez y algunas maquiladoras de giro electrónico. Su superficie territorial es 500.60 km² y está poblado por 90,668 habitantes, por lo que su densidad poblacional es de 181 habitantes por km² (ver figura 9).

Tijuana

Su actividad en la agricultura es escasa, sus principales cultivos son: trigo, cebada y avena. En ganadería resalta el ganado bovino lechero y de carne. En el sector industrial destaca la industria manufacturera, alimenticia y de bebidas. Debido a la industria y otras actividades económicas se realizan

Tijuana



Figura 10. Mapa del municipio de Tijuana y principales cifras de INEGI.

grandes operaciones comerciales. El turismo también es una de las principales actividades del

municipio atraído por su hipódromo, balnearios, cines, restaurantes, hoteles, bares, plazas de toros, campos de golf. En la figura 10, se observa su superficie territorial es de 1,234.50 km² y su población es 1,559,683 habitantes, por lo que su densidad poblacional es de 1,263 habitantes por km².

Tecate

Las actividades económicas del municipio que resaltan son la industria cervecera y la industria maquiladora. La agricultura es poca debido a la escasez de agua. El valle más importante es el Valle de las Palmas, sus principales cultivos son: olivo, vid, avena y cebada.

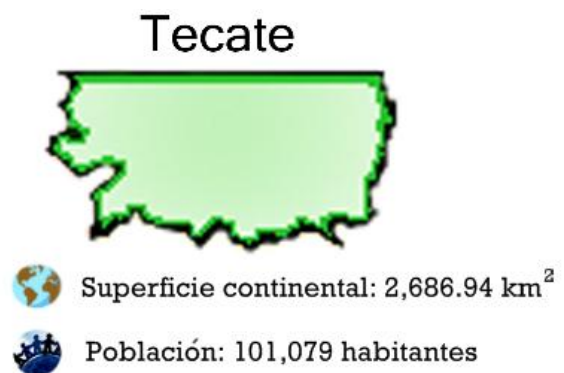


Figura 11. Mapa del municipio de Mexicali y principales cifras de INEGI.

Su superficie territorial es 2,686.94 km² y está poblado por 101,079 habitantes, por lo que su densidad poblacional es de 38 habitantes por km² (ver figura 11).

2.3 Sistema Ferroviario

El sistema de ferrocarril del Estado de Baja California únicamente funciona para transportar carga, existen dos vías: Administradora de la vía corta Tijuana a Tecate (ADMICARGA) con una longitud de 71 km y la de Central de Ferrocarril Pacifico Norte, perteneciente a Ferrocarril

Mexicano S.A. de C.V (Ferromex) que conecta Mexicali con el sur del país como se muestra en la figura 12. Además, el Sistema Ferroviario de Mexicali tiene conexión con la ciudad de Calexico, Estados Unidos.

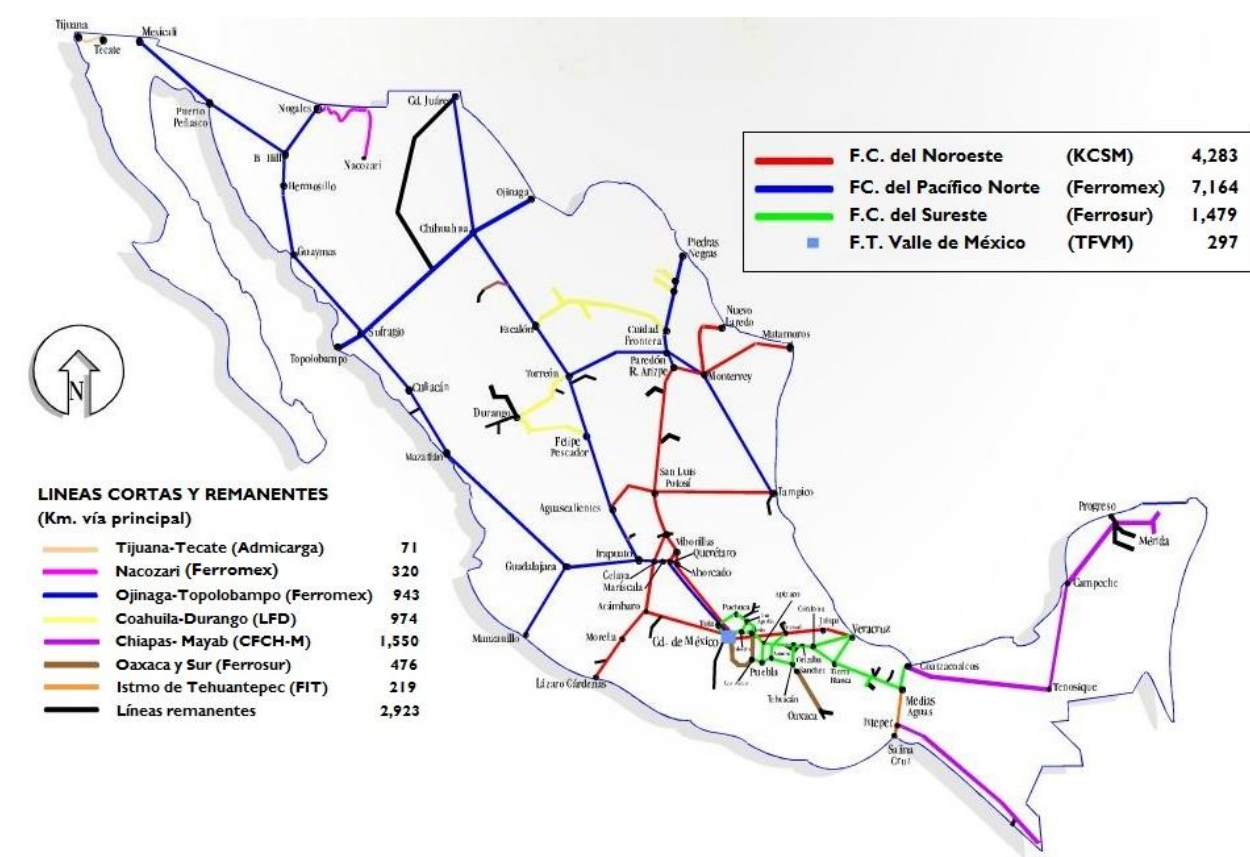


Figura 12. Mapa del Sistema Ferroviario Mexicano.

En 2010, Mexicali realizó importaciones por 201 mil toneladas y exportaciones por 25 mil toneladas, principalmente de productos agrícolas, industriales, petróleo y sus derivados. Así mismo, Tijuana tuvo una cantidad de 309 miles de toneladas de importaciones en 2010 [9].

Otro de los aspectos que fueron considerados para la construcción de los indicadores energéticos de Baja California, fue el Índice de Desarrollo Humano, que se describe a continuación.

2.4 Índice de Desarrollo Humano

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) indica el nivel de vida de la población y se determina a partir de 4 indicadores: esperanza de vida al nacer, años promedio de instrucción, años de instrucción esperados, ingreso nacional bruto per cápita y sus tres dimensiones: salud, educación y estándar de vida como se aprecia en la figura 13. En 2010, México presentó un Índice de Desarrollo Humano de 0.750 ubicado en el nivel 56 por encima de Malasia, Bulgaria y Costa Rica (nivel 62, 0.725) y debajo de Emiratos Árabes Unidos con 0.815 nivel 32 [10].

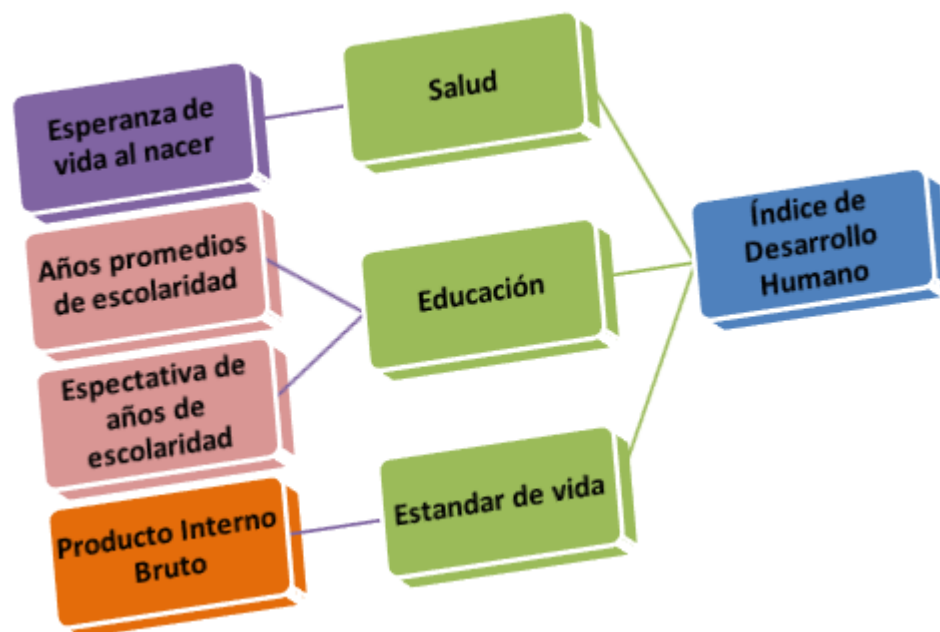


Figura 13. Componentes del Índice de Desarrollo Humano (Elaboración propia).

De acuerdo al documento “Indicadores de desarrollo humano y género en México 2005-2010”, Baja California, con un índice de 0.8522 se encuentra ubicado 5 niveles por encima de la media nacional y en 3er lugar a nivel estatal después del Distrito Federal y Nuevo León como se observa en la figura 14. Asimismo, supera a países como Costa Rica y Emiratos Árabes Unidos con un índice de 0.725 y 0.815 respectivamente.

En países en vías de desarrollo, el consumo de electricidad de la población posee una relación estrecha con el nivel de vida, dado que es necesaria para el funcionamiento de instituciones de educación, hospitales, centros de recreación, entre otros, así como para elevar las condiciones de confort de los habitantes. Es importante resaltar que la relación consumo de electricidad/IDH tiende a dispersarse cuando el país llega al estatus de desarrollo puesto, que existe un mayor ingreso per cápita y se pierde el interés de cuidar del consumo de energía.

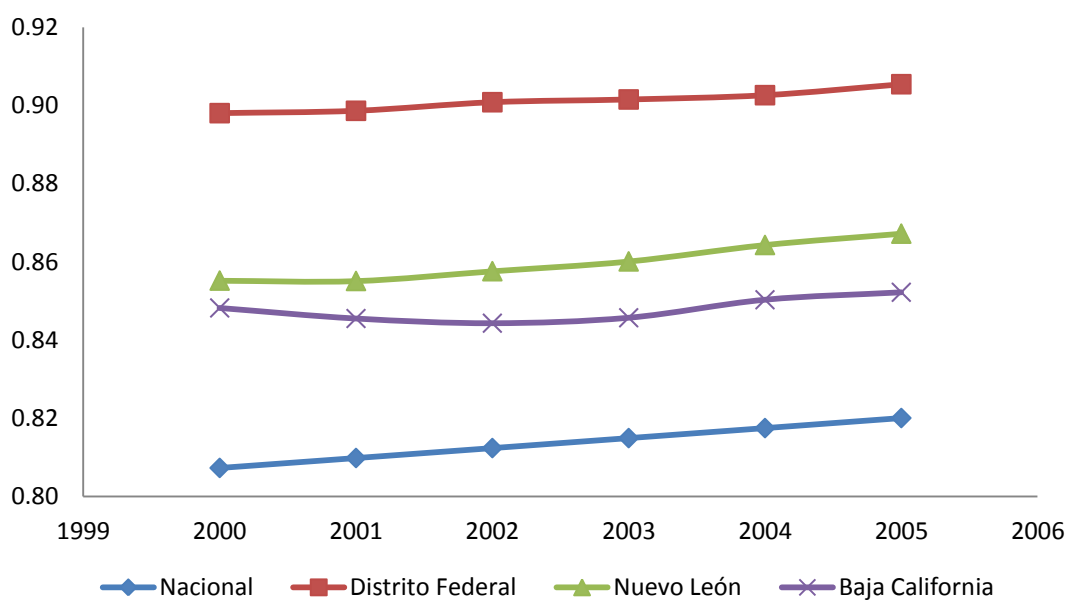


Figura 14. Índice de Desarrollo Humano. Ubicación de la entidad en el contexto nacional (Elaboración propia).

2.3 Energías Renovables

En la búsqueda de una alternativa a los combustibles fósiles se ha incrementado el uso de las energías renovables en el mundo. Éstas se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se encuentran: hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz y biomasa. Dichas energías se dividen en limpias y contaminantes (biomasa), debido a que estas últimas emiten CO₂ y GEI al igual que la energía producida por combustibles fósiles, aunque con la diferencia de que el CO₂ emitido será usado por la próxima generación de materia orgánica.

Alrededor del mundo las energías renovables han contribuido con 16.2% del consumo de combustibles, del cual destacan los biocombustibles y biomasa en mayor proporción seguidos de energía geotérmica, solar, eólica y térmica. De acuerdo a estadísticas de la Agencia Internacional de Energía, de 1973 al 2009 hubo un incremento del 661.43 mmtpe (millones de toneladas de petróleo equivalente), lo cual representó un incremento de 1.4% del consumo total en el año 2009.

2.3.1 Eólica

El parque eólico “La Rumorosa” inició operaciones en el municipio de Tecate. El proyecto tuvo un costo de 350 millones de pesos y cuenta con 10 MW, los cuales cubren la demanda del 80% del alumbrado público de la ciudad de Mexicali. Además, ha contribuido en el suministro eléctrico a 35,000 familias de bajos recursos durante el periodo de verano [11].

En la entidad se encuentran en desarrollo 7 proyectos, en los que participa la iniciativa privada como el denominado “La Rumorosa 2”, el cual tendrá una capacidad de generación de 20 MW. En la figura 15 se aprecia que en algunas zonas de Baja California, el viento alcanza velocidades por encima de 8.8 m/s. De acuerdo a estudios realizados por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), se cuantificó que en la Sierra de Juárez existe un potencial eólico de 500 a 1,800 MW; a su vez la Comisión Reguladora de Energía (CRE) estimó que en La Rumorosa y San Pedro Mártir se tiene un potencial cercano a 274 MW [12-13].

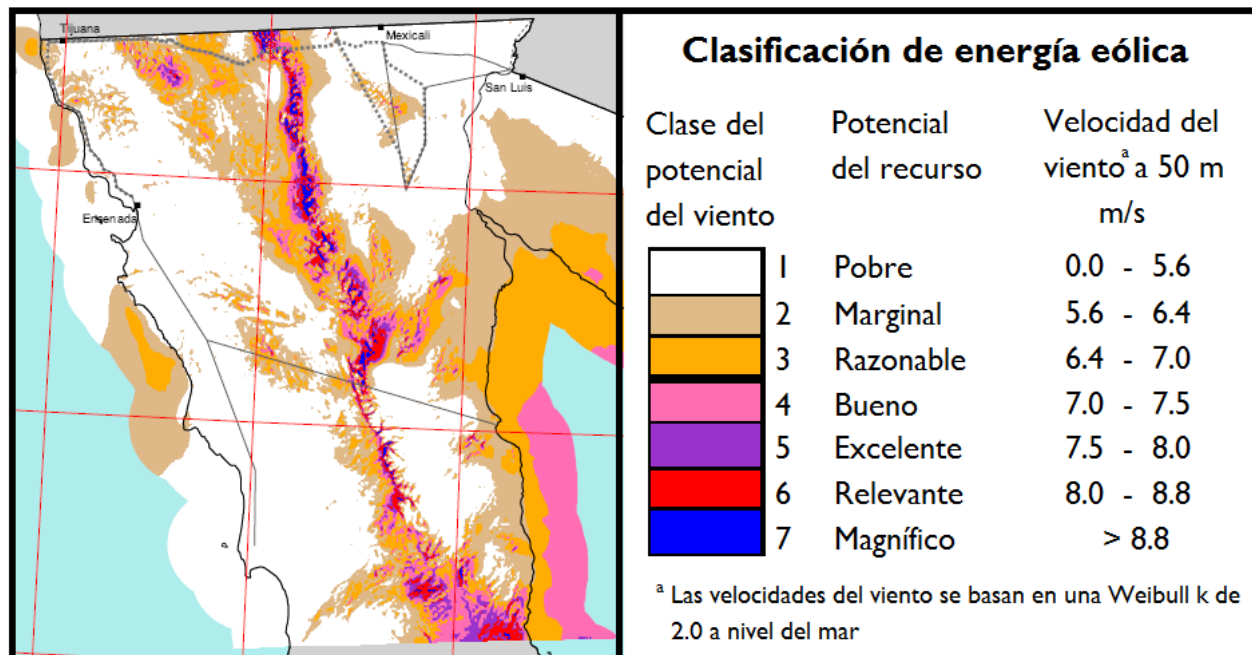


Figura 15. Capacidad potencial eólica en Baja California (NREL).

Entre algunos de los proyectos programados en el Estado destacan la ampliación del parque eólico la Rumorosa I y II con una capacidad adicional de 200 MW y la Rumorosa III con 100 MW, en los años 2014 y 2017 respectivamente [7].

2.3.2 Geotérmica

La energía geotérmica aporta aproximadamente el 3% de la producción total de energía eléctrica en México. El campo Cerro Prieto, ubicado en el estado de Baja California, es el más importante del país y es el segundo en capacidad instalada a nivel mundial. En la figura 16 se aprecian las 4 centrales generadoras del campo, con una capacidad total de 720 MW, lo cual

equivale a que, Baja California tiene el 75% de la capacidad geotermoeléctrica instalada nacional. Alberga más de 200 pozos cuyas profundidades se encuentran entre 1,250 y 3,550 m, de los cuales, aproximadamente 160 son productores y 7 son inyectores. Su capacidad de producción es de 6,307 GWh/año y existe un proyecto de adicionar 100 MW a Cerro Prieto en 2017 [14].

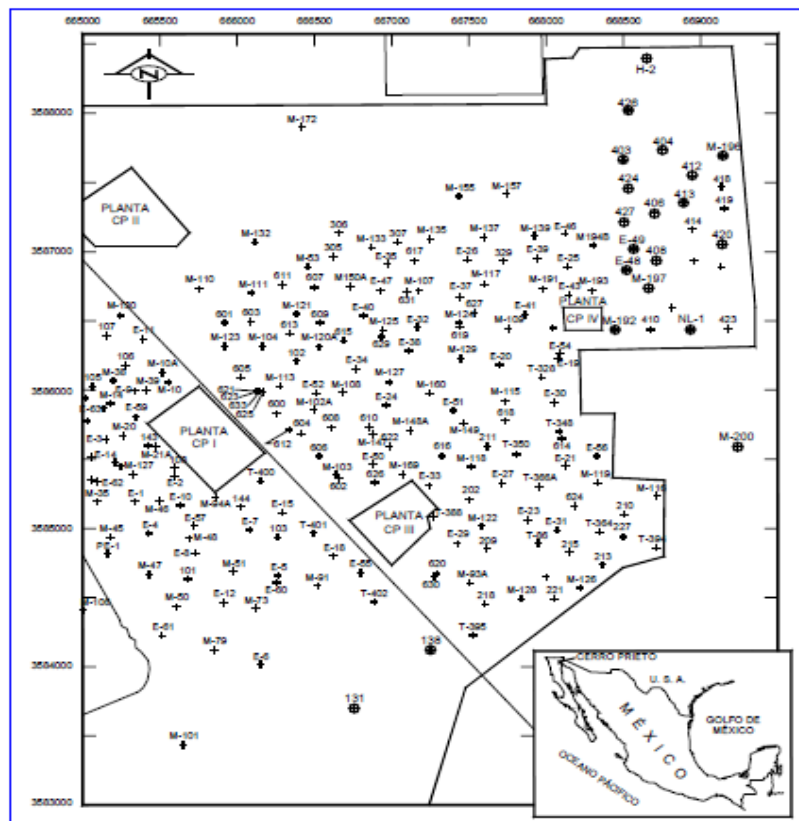


Figura 16. Ubicación del campo geotérmico de Cerro Prieto (CFE).

2.3.3 Solar

La capital del Estado, Mexicali, tiene un clima que se caracteriza por sus temperaturas extremas, en verano superiores a los 45°C y en invierno cercanas a 0°C. Baja California presenta

una insolación media superior a los 5.5 kWh/m² (ver figura 17). La cantidad de radiación recibida depende en gran medida de dos factores: la hora del día y la nubosidad presente.

En 2006, se realizó un proyecto de celdas fotovoltaicas en la colonia Valle de las Misiones con 220 casas, en cada casa se instaló un panel solar con una capacidad de generación de un kilowatt, la vida útil de cada panel es de 30 años y se estimó una generación de 2,040 kWh al año por cada casa, que corresponde al 60% de la energía que necesita cada vivienda. Además, se instaló un sistema que permite que el excedente, pase al sistema de distribución de la CFE, resultando un saldo a favor en su factura [15].

El corporativo Arima Group, de Taiwán, anunció la instalación de una planta productora de paneles solares en el Valle de Mexicali, la cual será la primera instalación autosustentable en la región, al abastecerse de energía con sus propios recursos. La empresa se llamará Baja Sun Energy y ha planeado la instalación de una granja solar con una capacidad inicial de 10 MW, con el propósito de alcanzar los 100 MW para su exportación a Estados Unidos [16-17].

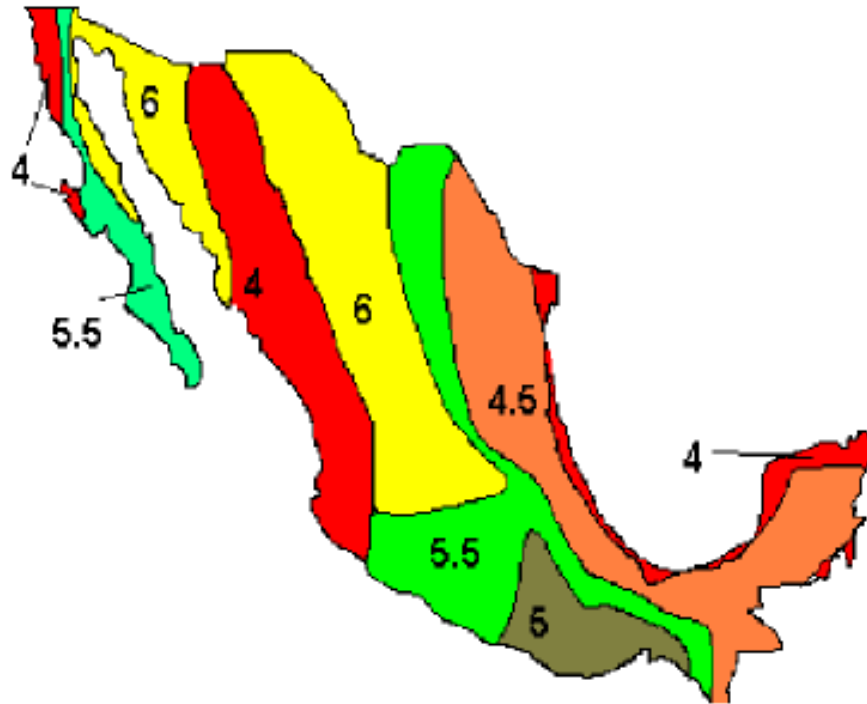


Figura 17. Irradiación solar diaria promedio en horas pico en México (kWh/m²).

2.3.4 Biomasa

El ser humano ha utilizado la biomasa desde la antigüedad, como es el caso de la leña. En el uso de la biomasa para la generación de energía, se aprovecha la energía química contenida en la materia orgánica, ésta a su vez puede o no ser residual. De acuerdo al estado físico en que se encuentre se clasifica en:

- Sólidos: leña, carbón, residuos agrícolas y pecuarios, y residuos municipales para obtener energía térmica.
- Gases: biogás para producir calor y electricidad.

- Líquidos: bioetanol y biodiesel obtenidos de cultivos energéticos como caña de azúcar, oleaginosas, higuera, palma de aceite y coco.

2.3.4.1 Grasas animales

Para estimar el potencial de producción de biodiesel a partir de grasas animales, se analizaron las provenientes de los 6 rastros del Estado que actualmente son enviadas a los centros de producción de alimentos balanceados. En 2008, se obtuvo una cifra cercana a los 260,000 cabezas de ganado y 695,000 aves sacrificadas. La evaluación demostró que pueden utilizarse 1.38 kt de grasa no comestible, para producir 1,492 m³ de biodiesel (B100), por lo tanto la energía anual obtenida de la grasa animal equivale a 51,197 GJ [18].

2.3.4.2 Aceites Residuales

En 2005, INEGI reportó en Mexicali 1,094 restaurantes establecidos, a partir de lo cual se estimó que la generación de aceites vegetales residuales en el Estado es de aproximadamente 3.09 litros per cápita anuales, con lo que es posible producir 1.57 millones de litros de biodiesel energía equivalente a 1.46 millones de litros de diesel [19].

2.3.4.3 Tipos de cultivo

Por otra parte, se están realizando proyectos pilotos de cultivos de higuera y jatropha con fines de elaboración de biocombustibles. A nivel nacional, la producción de higuera en el 2010

alcanzó las 4 toneladas. Los rendimientos medios de sus semillas van desde 900 hasta 1,000 kg/ha bajo condiciones de riego, y de 300 a 400 kg/ha sin riego. El contenido de aceite de estas semillas, varía de 35 a 55%, lo que sugiere que el potencial de rendimiento de aceite es de 200 a 2,750 kg/ha [20].

2.3.4.4 Trigo

El Valle de Mexicali es uno de lo más productivos del país, uno de sus principales cultivos es el trigo, el cual genera una gran cantidad de paja de trigo. La disposición de este residuo agrícola provoca contaminación de la ciudad al término de cada periodo de cosecha, ya que el 85% de la paja es quemada por los productores como una práctica tradicional. En 2010, solo en el Valle de Mexicali se estimó una generación de 640,385 toneladas de paja de trigo. La energía total disponible a partir de la combustión de la paja de trigo en el periodo 1987-2010, se estimó en 124.8 PJ lo que equivale aproximadamente a 19.5 millones de barriles de petróleo [21].

2.3.5 Hidráulica

Se está realizando un proyecto de una planta de energía hidroeléctrica con una capacidad estimada en 20 MW de electricidad. Esta planta de energía se conocerá como la "Central Hidroeléctrica Tecate", donde se planea aprovechar la energía del agua que corre en el acueducto del Río Colorado a Tijuana. La hidroeléctrica se alimentará de la ramificación de un conducto a partir del acueducto del sistema existente, esto a través de una tubería a presión que alimenta una casa de máquinas, la cual contiene una turbina tipo Pelton, misma que

aprovechando la energía cinética del agua hace girar un generador eléctrico de 20 MW. La electricidad será destinada para el autoabastecimiento de las plantas del Acueducto Río Colorado Tijuana [22].

2.3.6 Mareomotriz

Se ha estimado que el océano tiene una cantidad de energía de 5 millones de MW por lo que se busca la oportunidad de aprovechar una parte de ese potencial; una de las formas de explotar dicha energía es a través de la energía mareomotriz. Ésta se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en el Golfo de California utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, ya que es considerado entre los 40 lugares del mundo con condiciones favorables para la generación de este tipo de energía.

De acuerdo a estudios realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se estimó que la altura media de marea en el Golfo de California es de 3.5 m como se muestra en la figura 18 y colocando una barrera en la cota -10, se podría obtener una área de embalse de 2,590 km². Además, utilizando una potencia máxima en modo de flujo y reflujo de 26 GW se tendría una producción cercana a 23,000 GWh/año [23-24].



Figura 18. Rangos de marea (cm).

Baja California es rico por sus diferentes zonas climáticas, constituye parte de una península y al formar parte del golfo de Baja California aumenta el potencial de la energía mareomotriz; el alcance de la energía eólica en la Sierra de Juárez, La Rumorosa y San Pedro Mártir es de 1,800 MW Y 274 MW respectivamente; en el desierto de Mexicali se ha desarrollado la planta geotérmica denominada “Cerro Prieto” hoy reconocida a nivel mundial y tiene reservas probadas por 1,000 MW.

Además, en esa región se han realizado estudios donde en promedio se tiene 5.5 kWh/m^2 de radiación solar lo que ha llevado al desarrollo de diversos proyectos como el de la colonia Valle de Las Misiones; con la fuerza del flujo que corre del acueducto del Río Colorado se ha encontrado la oportunidad de aprovechar hasta 20 MW de energía hidráulica.

Cabe destacar, que la biomasa ha tomado gran relevancia por los residuos de los 6 rastros más importantes del Estado, el aceite vegetal que es desechado por los negocios de comida rápida, así como los residuos generados en el Valle de Mexicali considerado como uno de los valles más productivos del país con 244,328 ha para cultivo, según se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Potencial energético estatal a partir de fuentes renovables.

Fuente Renovable	Capacidad Instalada	Potencial		
		Biodiesel	Electricidad	Fuente Renovable
<i>Geotermia</i>	720 MW		1,000 MW	
<i>Solar</i>	-		5 kWh/m ²	
<i>Eólica</i>	10 MW		500-1,800 MW	Sierra de Juárez, Baja California
			274 MW	La Rumorosa y San Pedro Mártir
<i>Biomasa</i>	-	1,492 m ³ (B100)		Grasas animales
	-	6,400 m ³ (B100)		Aceites Residuales
	-		90.62 MW	Paja de trigo
<i>Mareomotriz</i>			2,625.57 MW	Golfo de California
<i>Hidráulica</i>	-		20 MW	Tecate

2.4 Indicadores energéticos

No existe una definición concreta de indicador energético, algunos autores han definido un indicador como:

- Magnitud utilizada para medir o comparar los resultados efectivamente obtenidos, en la ejecución de un proyecto, programa o actividad. Resultado cuantitativo de comparar dos variables.
- Los indicadores son útiles para comprobar los progresos hacia el logro de las metas específicas de un país. Por ejemplo, a fin de alcanzar un límite anual respecto de una serie de emisiones del sector energético, sería razonable identificar los valores de los indicadores pertinentes que se necesitarían para conseguir ese objetivo. Al conocer el sector energético, los encargados de adoptar las decisiones pueden identificar los indicadores que están en mejores condiciones de controlar. Así, se verifican más fácilmente los progresos y, a menudo, se aplican las políticas basadas en el uso de estos indicadores con mayor soltura que a través de un enfoque centrado exclusivamente en la meta.
- Es un dato que pretende reflejar el estado de una situación, o de algún aspecto particular, en un momento y un espacio determinados. Habitualmente se trata de un dato estadístico (porcentaje, tasa, razón, etc.) que pretende sintetizar la información que proporcionan los diversos parámetros o variables que afectan a la situación que se quiere analizar.

Finalmente, todos coinciden en que los indicadores energéticos sirven como una herramienta de medición y control del uso de la energía, facilitan estudiar dónde estamos y hacia dónde nos

dirigimos, con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y realizar una planeación estratégica en el sector energético.

Así mismo, se considera la determinación de los denominados componentes que permitan el cálculo de indicadores y en general de valores que son frecuentemente utilizados en los proyectos vinculados al sector energético y que, por lo general, en cada proyecto son calculados de diferentes fuentes, provocando como es de esperarse, diferentes resultados, en función de las fuentes consultadas.

2.4.1 Características de los indicadores

Los indicadores deben de contar con ciertas características para que sean de utilidad en el manejo y uso de ellos en la simulación de posibles escenarios, entre sus características, destacan las siguientes [25]:

- Tener un marco teórico que permita asociarlo y situarlo en un contexto.
- Ser específicos. Estar relacionados con las variables que se va a analizar de acuerdo a los diferentes ámbitos.
- Ser explícitos. Que con el nombre sea suficiente para conocer si se trata de un valor, porcentaje, índice, etc.
- Estar disponibles. Que se pueda consultar su comportamiento en el transcurso del tiempo y comparar con otras entidades.

- Ser relevantes y oportunos para la toma de decisiones, de tal manera que permitan establecer metas.
- Ser claros, de fácil comprensión para no causar confusión o mal uso de ellos.

2.5 Antecedentes

Entre los avances que se han logrado para la definición de los indicadores destaca la iniciativa del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en el año 1999, que junto con otros organismos se dio a la tarea de plantear la metodología para la definición de los indicadores para un conjunto de países. Al término de varias etapas se concluyó que los principales indicadores eran 30 y estos debían de clasificarse de acuerdo a sus aspectos sociales, económicos y ambientales [26].

La tabla 3 indica la clasificación de los indicadores de acuerdo al aspecto en el cual se encuentran enmarcados, es decir su dimensión social, económica y ambiental.

Tabla 3. Clasificación de los indicadores de acuerdo a la dimensión.

Dimensión	Indicadores
Social	4
Económico	16
Ambiental	10

Las tablas 4, 5 y 6 presentan una lista de los indicadores en su dimensión social, económica y ambiental con una breve definición y los componentes que son utilizados para su determinación.

Tabla 4. Dimensión social.

Tema	Indicador energético	Componentes
Equidad	SOC1	Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales -Hogares (o población sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales -Número total de hogares o población total
	SOC2	Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad -Ingresos de los hogares dedicados a combustibles y electricidad -Ingresos de los hogares (del total y del 20 % más pobre de la población)
	SOC3	Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados -Uso de energía por hogar para cada grupo de ingresos (quintiles) - Ingresos del hogar por cada grupo de ingresos (quintiles) -Combinación de combustibles utilizada por cada grupo de ingresos (quintiles)
Salud	SOC4	Víctimas mortales de accidentes por la energía producida por la cadena de combustibles - Víctimas mortales anuales por cadenas de combustibles - Producción anual de energía

Tabla 5. Dimensión económica.

Tema		Indicador energético	Componentes
Patrones de uso y producción	ECO1	Uso de energía <i>Per cápita</i>	-Uso de energía (suministro total de energía primaria, consumo final total y uso de electricidad) - Población total
	ECO2	Uso de energía por unidad de PIB	-Uso de energía (suministro total de energía primaria, consumo final total y uso de electricidad) -PIB
	ECO3	Eficiencia de la conversión y distribución de energía	-Pérdidas en los sistemas de transformación y distribución de electricidad
	ECO4	Relación reservas/producción	-Recursos totales estimados -Producción total de energía
	ECO5	Relación recursos/producción	-Recursos totales estimados -Producción total de energía
	ECO6	Intensidades energéticas de la industria	-Uso de energía en el sector industrial y por rama de manufacturas -Valor agregado correspondiente
	ECO7	Intensidades energéticas del sector agrícola	-Uso de energía en el sector agrícola -Valor agregado correspondiente
	ECO8	Intensidades energéticas del sector comercial/ de los servicios	-Uso de energía en el sector de los servicios/comercial -Valor agregado correspondiente
	ECO9	Intensidad energética de los hogares	-Uso de energía en los hogares y por usos finales clave -Número de hogares, superficie edificada, personas por hogar, propiedad de aparatos electrodomésticos

Tema	Indicador energético		Componentes
	ECO10	Intensidades energéticas del transporte	-Uso de energía en el transporte de pasajeros y de carga, y por modalidad -Pasajeros/km recorridos y toneladas/km de carga transportada, y por modalidad
Patrones de uso y producción	ECO11	Porcentajes de combustibles en la energía y electricidad	-Suministro de energía primaria y consumo final, generación de electricidad y capacidad de generación por tipo de combustible -Suministro total de energía primaria, consumo final total de energía, generación de electricidad total y capacidad total de generación
	ECO12	Porcentaje de energía no basada en el carbono, en la energía y electricidad	-Suministro primario, generación de electricidad y capacidad de generación por energía no basada en el carbono -Suministro total de energía primaria, generación total de electricidad y capacidad total de generación
	ECO13	Porcentaje de energías renovables, en la energía y electricidad	-Suministro de energía primaria, consumo final y generación de electricidad y capacidad de generación por energías renovables -Suministro total de energía primaria y consumo final total de energía, generación de electricidad total y capacidad de generación total
	ECO14	Precios de la energía de uso final por combustible y sector	-Precios de la energía (con y sin impuestos/subvenciones)
Seguridad	ECO15	Dependencia de las importaciones netas de energía	-Importaciones de energía -Suministro total de energía primaria

Tema	Indicador energético	Componentes
	ECO16 Reservas de combustibles críticos por consumo del combustible correspondiente	-Reservas de combustibles críticos (por ejemplo, petróleo, gas, etc.) -Consumo de combustibles críticos

Tabla 6. Dimensión ambiental.

Tema	Indicador energético	Componentes
Atmosfera	ENV1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la producción y uso de energía, <i>per cápita</i> y por unidad de PIB	-Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la producción y uso de energía -Población y PIB
	ENV2 Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas	-Concentración de contaminantes de la atmósfera
	ENV3 Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos	-Emisiones contaminantes a la atmósfera
Agua	ENV4 Descargas de contaminantes en efluentes líquidos procedentes de los sistemas energéticos incluidas las descargas de petróleo	-Descargas de contaminantes en efluentes líquidos
Tierra	ENV5 Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica	-Zona del suelo afectada -Carga crítica
	ENV6 Tasa de deforestación atribuida al uso de energía	-Zona forestal en dos momentos diferentes -Utilización de la biomasa

Tema	Indicador energético	Componentes
	ENV7 Relación entre la generación de desechos sólidos y las unidades de energía producida	-Cantidad de desechos sólidos -Energía producida
	ENV8 Relación entre los desechos sólidos adecuadamente evacuados y el total de desechos sólidos generados	-Cantidad de desechos sólidos adecuadamente evacuados -Cantidad total de desechos sólidos
	ENV9 Relación entre los desechos sólidos radioactivos y las unidades de energía producida	-Cantidad de desechos radioactivos (acumulación durante un periodo de tiempo determinado)
	ENV10 Relación entre los desechos sólidos radiactivos en espera de evacuación y el total de desechos sólidos radioactivos generados	-Cantidad de desechos radioactivos a la espera de su evacuación -Volumen total de desechos Radioactivos

Entre los resultados más relevantes, a nivel nacional, obtenidos a partir de la definición y control de los indicadores energéticos, se encuentra el caso del Estado de Guanajuato, donde la empresa Consultoría de negocios y tecnologías de gestión S.A.C., creó el Sistema de información energética de Guanajuato (SIEG) como una plataforma de consulta sobre información energética catalogada por municipios, con el fin de contar con información actualizada para realizar una planeación estratégica del Estado e incrementar el uso de energías renovables. La plataforma se divide en los siguientes módulos [27]:

- Módulo del Balance de Energía del Estado de Guanajuato.
- Módulo de Atlas Bioclimático del Estado de Guanajuato.

- Módulo del Sistema de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Guanajuato.
- Módulo de Información Sinóptica de Guanajuato.
- Módulo de Información General.
- Módulo de Información y Aplicaciones para Planeación Estratégica Estatal.

El programa SIEG, a su vez es un sistema de actualización continua que muestra información energética y socioeconómica de Guanajuato, que el Gobierno del Estado a través de CONCYTEG, pone a su disposición.

2.6 Marco legal

México es considerado como un país petrolero, por lo que el desarrollo de las energías renovables ha sido lento e incipiente. Sin embargo, el gobierno buscando un desarrollo energético sustentable, ha aprobado leyes para su impulso, las cuales se mencionan a continuación:

Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables en México

En el 2008, se publicaron en México la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Esta última previó la creación de un fideicomiso con la intención de que las fuentes de energía renovable alcanzaran en el 2012, un 8% en la participación de la generación de electricidad nacional, esto sin considerar la aportación de las grandes hidroeléctricas. Los

reportes de 2010 de la Secretaría de Energía de México indican que el 5.5% de la energía primaria se genera a partir de fuentes renovables y el 1.4% de hidroenergía.

Ley de Energías Renovables en Baja California

Para fomentar el uso de energías limpias, el congreso del Estado aprobó en marzo de 2012 la Ley de Energías Renovables de Baja California que fomenta el uso de las fuentes renovables con el fin de impulsar la sustentabilidad energética estatal y reducir el impacto de los gases de efecto invernadero en el medio ambiente, así como mejorar la economía del Estado elevando la calidad de vida poblacional.

El Estado de California, Estados Unidos, también ha publicado leyes respecto a las energías renovables, es relevante mencionarlo ya que colinda en la frontera norte con Baja California y sus redes eléctricas están interconectadas, lo que da a lugar a una relación comercial.

Ley de Energías Renovables en California, EUA

Esta ley establece que a partir del 2020, el 33% de la electricidad suministrada sea obtenida de fuentes renovables, generada en la misma región o de importación, por lo que el gobierno está dando prioridad a los permisos y proyectos que estén enfocados a dichos requerimientos.

En 2009, el porcentaje que California generó de energía eléctrica con fuentes renovables como eólica, solar, geotérmica, biomasa y pequeñas centrales hidroeléctricas fue de 11.6 % y otro

9.2% de las grandes plantas hidroeléctricas, por lo que nace una oportunidad de mercado para Baja California de desarrollar energías renovables para la exportación de electricidad.

Capítulo 3. Metodología

Para el desarrollo de la investigación del proyecto, se tomaron como base los 30 indicadores antes mencionados, adaptándolos al Estado de Baja California de acuerdo a las principales actividades productivas de la entidad y a la disponibilidad de información necesaria para determinarlos, así como el sistema SIEG de Guanajuato.

El cálculo de los indicadores se realizó de acuerdo a las siguientes etapas como se ilustra en la figura 19:

- Estado del arte.
- Adaptación de los indicadores de acuerdo a las actividades de la entidad.
- Definición de las variables necesarias para el cálculo de los indicadores.
- Recopilación de información de las variables para calcular los indicadores.
- Definición de la metodología para obtener dicha información y fuente de información.
- Construcción de los indicadores, de forma estadística utilizando las fuentes de información registradas.
- Análisis de la evolución de los indicadores energéticos, identificando la tendencia por municipio a lo largo de los años.

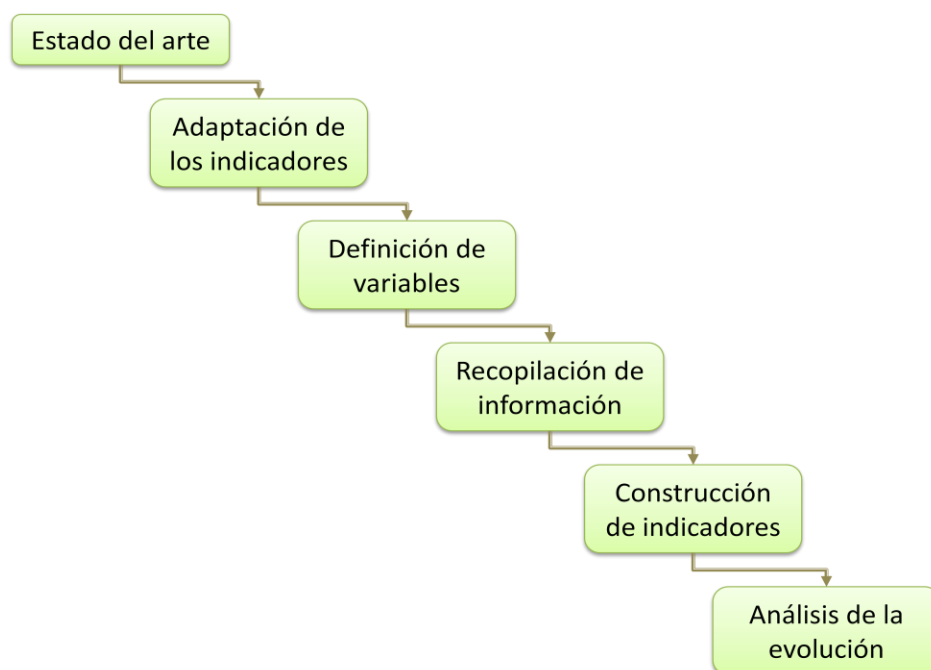


Figura 19. Metodología para la construcción de indicadores.

Después de realizar una análisis de la información disponible y de eliminar los indicadores que no son aplicables a la región, se seleccionaron 22 de los 30 indicadores definidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica, como factibles de ser calculados para el Estado de Baja California, los cuales se describen en la tabla 7.

Tabla 7. Lista de indicadores energéticos seleccionados para el Estado de Baja California.

Indicador	Descripción
SOC1	Proporción de viviendas (o población) sin electricidad o energía comercial o fuertemente dependientes de energía no comercial
SOC2	Proporción del ingreso de la viviendas que se gasta en combustibles y electricidad
SOC3	Uso de la energía en la vivienda para cada grupo de ingreso y su correspondiente mezcla de combustibles
EC01	Uso de energía per cápita
EC02	Uso de energía por unidad de PIB

Indicador	Descripción
EC03	Eficiencia de conversión y distribución de energía
EC06	Intensidad energética industrial
EC07	Intensidad energética agrícola
EC08	Intensidad energética servicios y comercial
EC09	Intensidad energética residencial
ECO10	Intensidad energética en transporte
EC011	Proporción de combustibles en energía y electricidad
EC013	Proporción de energía renovable en energía y electricidad
EC014	Precios de uso final de la energía por combustible y por sector
EC015	Dependencia de importaciones netas de energía
EC016	Inventarios de combustibles críticos por consumo del combustible correspondiente
ENV1	Emisiones de gases de invernadero (GHG) por la producción y uso de la energía per cápita y por unidad de PIB
ENV2	Concentraciones en el ambiente de contaminantes del aire en zonas urbanas
ENV3	Emisiones de contaminantes del aire desde los sistemas energéticos
ENV4	Descarga de contaminantes en efluentes líquidos desde los sistemas energéticos, incluyendo descargas de aceites
ENV7	Relación de generación de residuos sólidos a unidades de energía producida
ENV8	Relación de de residuos sólidos dispuestos correctamente a el total de residuos sólidos generados

Para el cálculo de dichos indicadores fue necesaria la definición de variables, la recopilación de información o cálculo de la misma. Se obtuvieron series históricas a nivel Estado, zona y municipio, las principales variables se describen a continuación:

Población

Con la información de los censos y conteos realizados por INEGI de los años 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010 se determinó la población del Estado y además que las tasas de crecimiento promedio anual para el periodo 2000-2005 fueron del 2.4% y 5% del 2005-2010. Se calculó la tasa de crecimiento media para los municipios y por ende la población del periodo 1990-2010.

Producto Interno Bruto (PIB)

Se presenta el Producto Interno Bruto del Estado en precios constantes base 2003, así como de todos sus municipios. Se realizó el cálculo utilizando el PIB en precios corrientes reportado para el Estado por INEGI, después se procedió a agregar la información del periodo 1993 al 2009. Es importante mencionar que el PIB en algunos años se encuentra reportado en 9 grandes divisiones y un apartado de servicios bancarios imputados y en otros no, por lo que se tuvo que reordenar de acuerdo a la estructura del SCIAN lo más uniformemente posible, dando como resultado las 9 grandes divisiones originales:

- 1) Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza.
- 2) Minería.
- 3) Industrias manufactureras.
- 4) Construcción.
- 5) Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.
- 6) Comercio, restaurantes y hoteles.
- 7) Transporte, almacenaje y comunicaciones.

- 8) Servicios: Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler, servicios comunales sociales y personales.
- 9) SIFMI Servicios de intermediación financiera medidos indirectamente.

Después se procedió a disgregar el PIB estatal a municipal utilizando el valor agregado censal bruto de cada municipio en cada actividad reportado en los censos económicos de INEGI 2009, considerando que era una fuente de información formal y viable que tenía mayor relevancia.

El PIB generado por la industria manufacturera a su vez se disgregó en pequeña, mediana y gran industria de acuerdo al porcentaje de empresas que tiene cada municipio.

Se tomo el Índice Nacional de Precios al Consumidor base 2003 para calcular de precios corrientes a precios constantes.

Viviendas

De acuerdo a los conteos de Población y Vivienda 2000, 2005 y 2010 se tienen los datos de las viviendas habitadas por municipio, así como las que poseen servicio eléctrico, los valores intermedios de cada periodo fueron calculados de acuerdo a porcentajes de referencia de las encuestas antes mencionadas.

Debido a la falta de información disponible del Estado, ya que este trabajo se realizó a partir de información ya establecida por fuentes de información gubernamentales o de índole formal, no fue posible el registro de todas las variables necesarias para el cálculo de todos los indicadores seleccionados, por lo que se calcularon los indicadores mostrados en la tabla 8.

Tabla 8. Lista de los indicadores calculados y sus unidades.

Dimensión	Indicador energético	Componentes
Social	Porcentaje de viviendas sin electricidad	Viviendas habitadas Viviendas sin servicio de electricidad
Económico	Uso de la energía per cápita	Kilowatts-hora/habitante
Económico	Consumo de electricidad en el Sector Residencial	Kilowatts-hora/vivienda Kilowatts-hora/habitante
Económico	Consumo de electricidad en el Sector Industrial	Kilowatts-hora/habitante
Económico	Producto Interno Bruto per cápita	Miles de pesos M.N./habitante
Económico	Uso de la energía por unidad del PIB	kilowatts-hora/pesos M.N.
Económico	Consumo de diesel en el Sector Transporte	Litros/habitante
Económico	Consumo de gasolina en el Sector Transporte	Litros/habitante
Ambiental	Emisiones de GEI en base al consumo energético total en Baja California	kg de CO ₂ e/habitante
Ambiental	Emisiones de GEI del consumo de electricidad en Baja California	kg de CO ₂ e/habitante
Ambiental	Emisiones de GEI históricas del Sector Transporte en Baja California	kg de CO ₂ e/habitante

Capítulo 4. Resultados y discusión

Indicador: Porcentaje de viviendas sin electricidad

Para la construcción de este indicador se consideraron las variables de viviendas sin electricidad y viviendas habitadas en los 5 municipios.

En el cálculo del indicador de porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad se propuso utilizar los usuarios de CFE con la tarifa “1”, equivalente al sector doméstico, el problema radica en que la tarifa no está dividida por municipio. Por otro lado INEGI reporta el número de viviendas habitadas y viviendas que disponen del servicio de electricidad, por ello se tomaron estos datos para la construcción de este indicador, aunque al comparar las 870,483 viviendas habitadas del Estado en 2010 contra 936,221 usuarios registrados en CFE, hace pensar en qué porcentaje de estos usuarios no se encuentra habitada la vivienda.

En la tabla 9, se aprecia que en el año 2000, el 8.3% de las viviendas habitadas no contaban con el servicio de electricidad, porcentaje que ha tenido una clara disminución hacia el 2010, con una tasa de reducción de 15.73%.

Mexicali y Tijuana, son las ciudades del Estado que presentan un menor índice de inaccesibilidad al servicio; esto es debido a que son las ciudades que cuentan con un mayor desarrollo económico.

Tabla 9. Porcentaje de viviendas sin electricidad

(Elaboración propia con datos del Censo General de Población y Vivienda 2000 y 2010, Conteo de población y vivienda 2005).

Año	Baja California (%)	Ensenada (%)	Mexicali (%)	Playas de Rosarito (%)	Tecate (%)	Tijuana (%)
2000	8.30	8.88	5.81	15.23	10.2	9.26
2001	3.59	5.90	5.44	16.28	3.40	1.00
2002	3.50	5.90	5.08	17.32	3.40	1.00
2003	3.42	5.90	4.71	18.34	3.40	1.00
2004	3.33	5.90	4.34	19.35	3.40	1.00
2005	7.68	5.41	6.09	13.65	8.36	9.05
2006	1.46	2.90	1.10	3.80	3.40	1.00
2007	1.46	2.90	1.10	3.80	3.40	1.00
2008	1.46	2.90	1.10	3.80	3.40	1.00
2009	1.46	2.90	1.10	3.80	3.40	1.00
2010	1.50	2.90	1.10	3.80	3.40	1.00

En la figura 20, también se puede observar cómo el municipio de Playas de Rosarito ha reducido su indicador, ya que en el año 2000, el 15.23% de sus viviendas no contaba con el servicio de electricidad y bajo hasta 3.8% en el 2010.

El porcentaje sin acceso a servicios de electricidad, servirá para supervisar los progresos en la esfera de accesibilidad a la electricidad, los datos necesarios para su desarrollo fueron el número de viviendas por municipio totales así como las viviendas sin acceso al servicio de electricidad.

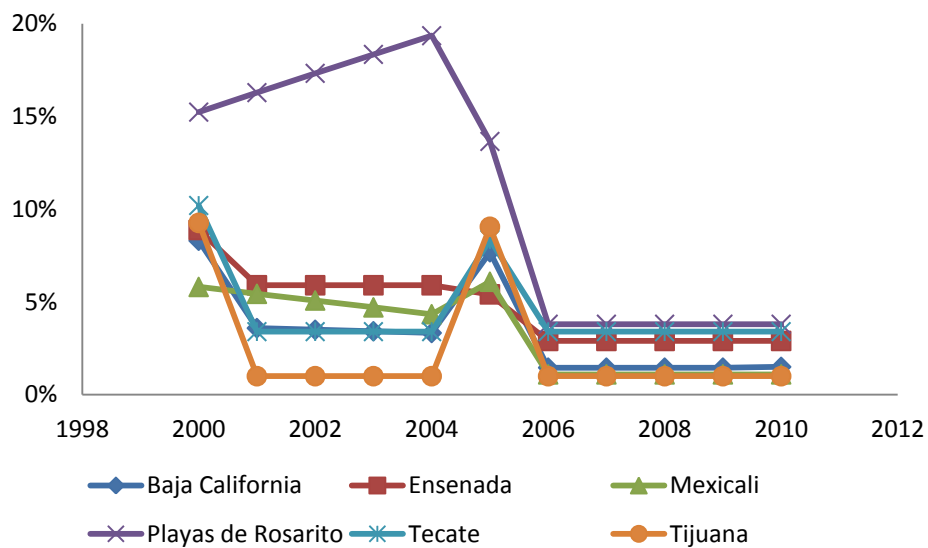


Figura 20. Porcentaje de viviendas sin electricidad.

Indicador: Uso de la energía per cápita

Las variables utilizadas son la población y el volumen de ventas de energía eléctrica por municipio del sector residencial, industrial, comercial y agrícola.

El consumo anual promedio de electricidad en el periodo 1999-2010 fue 2,974.5 kWh/habitante equivalente al 1.83 veces el consumo nacional del 2009, según se resume en la tabla 10.

Tabla 10. Uso de la energía per cápita (kWh/habitante).

(Elaboración propia con datos de Anuarios Estadísticos de Baja California, INEGI).

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
1999	2,735.99	1,909.24	4,244.37	1,124.70	1,197.60	2,209.96
2000	3,024.20	1,880.33	4,958.34	1,074.65	1,217.49	2,371.27
2001	3,010.20	1,807.67	4,937.60	1,127.80	1,142.69	2,336.25
2002	2,864.62	1,816.21	4,746.02	1,040.56	1,078.56	2,222.46
2003	2,972.58	1,880.35	4,999.60	1,016.68	1,099.00	2,273.65
2004	3,011.75	1,925.53	4,980.15	1,015.34	1,130.96	2,357.14
2005	2,986.97	1,936.45	4,912.91	972.59	1,083.99	2,353.76
2006	3,132.61	2,031.72	5,203.79	967.22	1,159.45	2,445.63
2007	3,105.30	2,047.47	5,206.92	960.43	1,169.50	2,390.97
2008	3,095.67	1,932.30	5,265.87	884.11	1,179.81	2,381.14
2009	2,924.24	1,884.23	5,056.81	794.09	1,102.24	2,192.50
2010	2,829.85	1,776.08	4,786.74	734.69	1,096.94	2,203.94

En la figura 21 se muestra que, Mexicali presenta un mayor consumo a diferencia del resto de los municipios por ser una zona industrial y ser una región con clima extremoso. En 2010, un habitante de Mexicali consumió 1.7 veces el consumo promedio estatal. Además, en Playas de Rosarito se observa una reducción del 3.8% del consumo medio anual en el periodo 1999 a 2010.

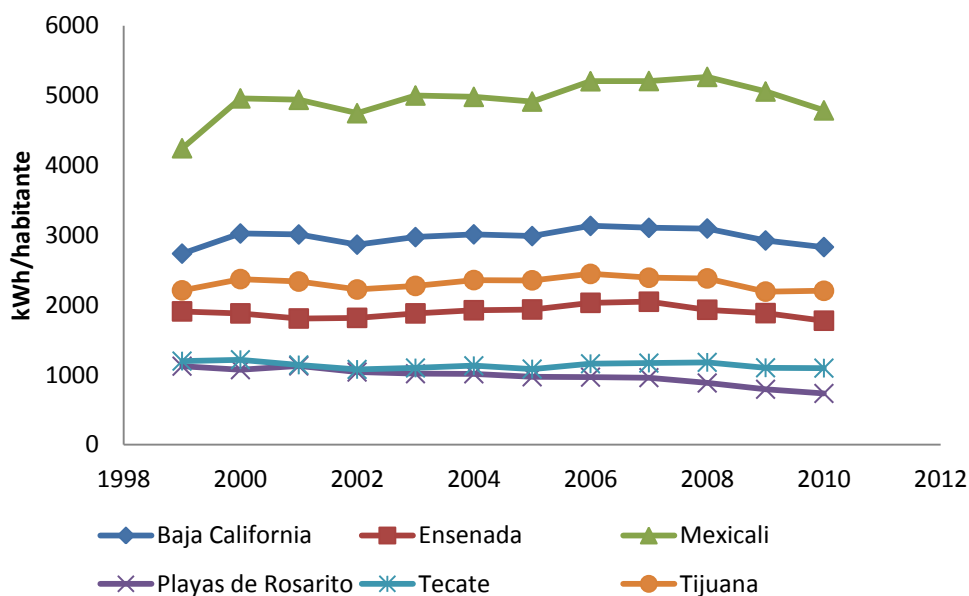


Figura 21. Uso de la energía per cápita.

Indicador: Consumo de electricidad por vivienda en el sector residencial

Este indicador está muy ligado al consumo por usuario registrado en CFE, se calculó ya que como anteriormente se había mencionado en 2010 existe una diferencia de 90 mil usuarios entre dichas variables y no se tiene una tarifa determinada para el sector residencial a excepción de Mexicali.

De acuerdo a los datos de la tabla 11, el consumo de electricidad en las viviendas se ha mantenido constante relativamente con una pequeña tasa de reducción de 0.76%.

Tabla 11. Consumo de electricidad por vivienda en el sector residencial
(Kilowatts-hora/vivienda).

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
2000	3,766	2,396	6,741	3,889	2,501	2,267
2001	3,771	2,152	7,269	3,516	2,511	2,180
2002	3,913	2,170	7,608	3,619	2,650	2,238
2003	3,546	2,052	6,854	3,404	2,431	2,018
2004	3,629	1,973	7,333	3,211	2,410	1,921
2005	3,621	1,949	6,981	3,072	2,415	2,036
2006	3,431	1,877	6,835	2,698	2,256	1,836
2007	3,616	1,946	7,380	2,720	2,317	1,848
2008	3,544	1,906	7,123	2,790	2,328	1,878
2009	3,558	1,862	7,278	2,594	2,318	1,840
2010	3,489	1,777	7,295	2,178	2,209	1,770

En la figura 22 se aprecia que, el único municipio con un incremento fue Mexicali al pasar de 6,741 a 7,295 kWh/vivienda en el periodo 2000-2010 con una tasa de crecimiento del 0.79%.

Además, el consumo de una vivienda de Mexicali es 2.09 veces el consumo estatal promedio.

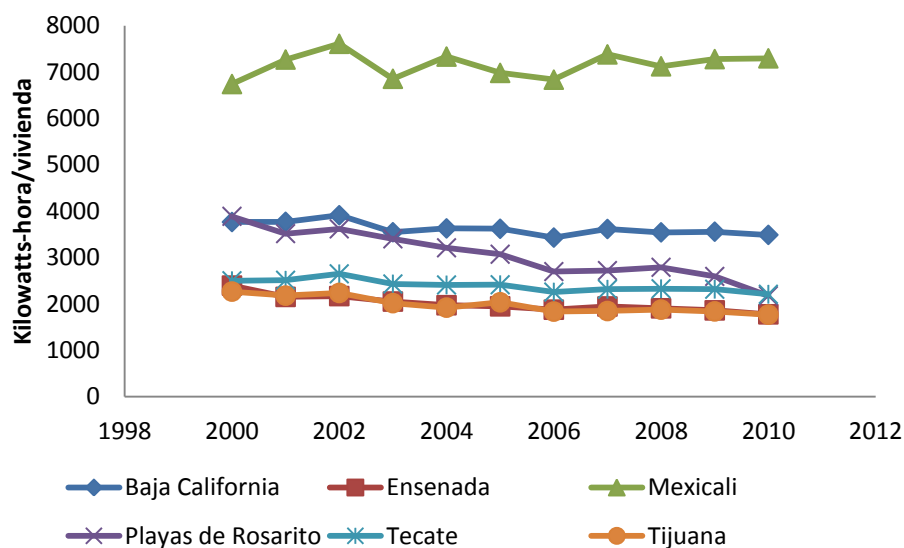


Figura 22. Consumo de electricidad por vivienda en el sector residencial.

Indicador: Consumo de electricidad per cápita en el sector residencial

Las variables consideradas son el consumo de electricidad kilowatts-hora del sector residencial y la población.

Tal como aparece en la tabla 12, los municipios que presentan un cambio considerable de consumo de electricidad, son Rosarito y Mexicali, el primero con una tasa de reducción anual de 3.9%, y el segundo con una tasa de crecimiento de 1.95%.

**Tabla 12. Consumo de electricidad per cápita en el sector residencial
(Kilowatts-hora/habitante).**

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
1999	867	557	1,607	829	565	511
2000	923	521	1,768	754	612	541
2001	965	531	1,875	779	645	558
2002	881	507	1,710	735	590	505
2003	908	492	1,853	696	584	482
2004	887	502	1,791	675	576	480
2005	909	503	1,873	677	571	477
2006	971	526	2,050	683	591	488
2007	964	518	2,006	701	598	504
2008	980	510	2,078	652	600	501
2009	964	488	2,077	595	563	484
2010	911	476	1,950	557	556	460

El consumo de la población de Mexicali equivale a 2.14 veces el consumo estatal lo cual es comprensible por el enfriamiento de la vivienda, necesario en temporada de verano. Haciendo un comparativo del consumo de electricidad por vivienda y del consumo de electricidad por habitante, en promedio habitan 3.8 personas por vivienda en el Estado (ver figura 23).

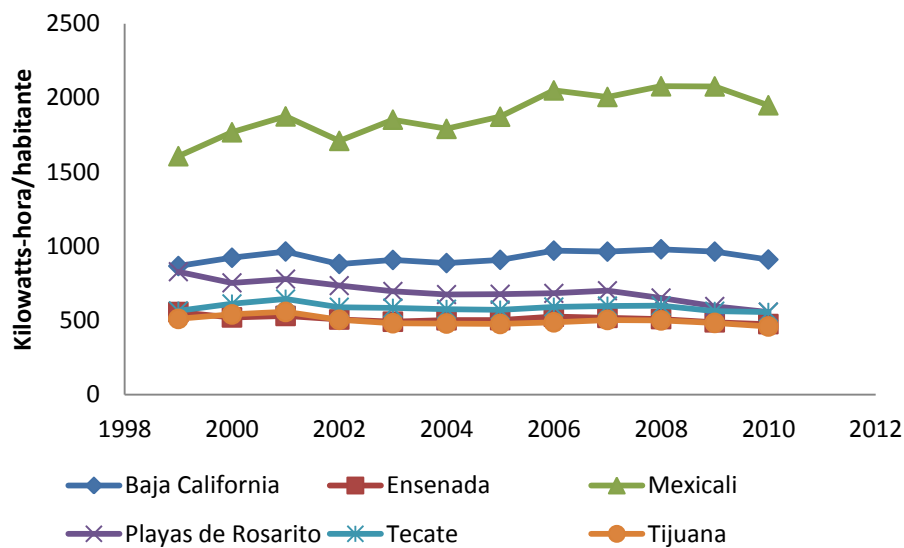


Figura 23. Consumo de electricidad per cápita en el sector residencial.

Indicador: Consumo de electricidad per cápita en el sector industrial

Las variables consideradas son el consumo de electricidad kilowatts-hora del sector industrial y la población municipal.

Por considerarse una región industrial, se calculó el consumo industrial per cápita, los mayores consumidores fueron Mexicali y Tijuana con 2,651 y 1,700 kWh/habitante respectivamente, como se ilustra en la tabla 13 y figura 24.

**Tabla 13. Consumo de electricidad per cápita en el sector industrial
(Kilowatts-hora/habitante).**

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
1999	1,488	836	2,152	ND	246	1,421
2000	1,695	862	2,678	ND	247	1,511
2001	1,667	855	2,610	ND	192	1,506
2002	1,653	856	2,609	ND	206	1,479
2003	1,692	906	2,659	ND	202	1,516
2004	1,765	933	2,734	ND	231	1,610
2005	1,738	953	2,605	ND	199	1,632
2006	1,809	1,009	2,705	ND	258	1,698
2007	2,009	1,193	3,007	216	482	1,844
2008	1,989	1,127	2,994	194	488	1,837
2009	1,828	1,056	2,790	172	462	1,664
2010	1,798	1,027	2,651	157	454	1,700

En Baja California existen 13,347 usuarios registrados en el sector industrial los cuales consumieron 5,134,696 MWh equivalente a 2.81% del consumo nacional del 2009.

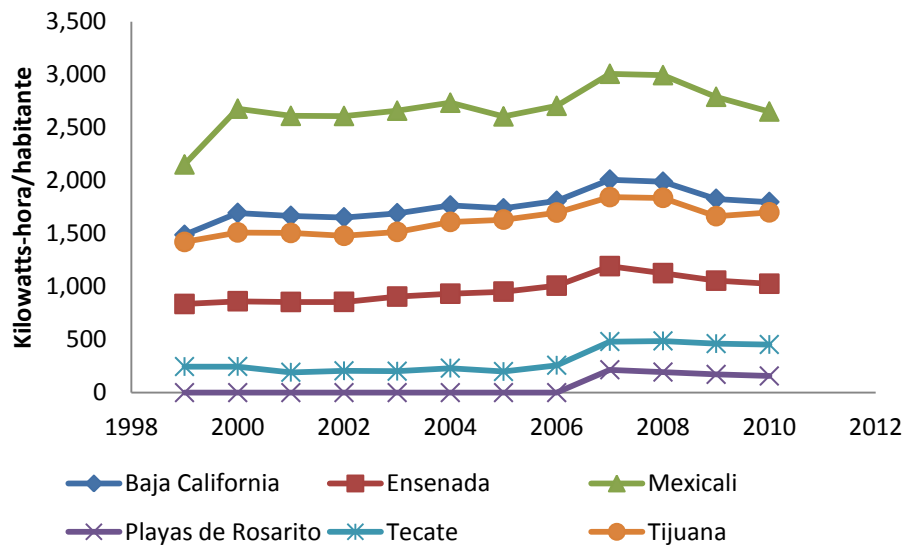


Figura 24. Consumo de electricidad per cápita en el sector industrial.

Indicador: Producto Interno Bruto per cápita

Las variables utilizadas para el desarrollo de este indicador son el Producto Interno Bruto municipal en precios del año 2003, el cual fue calculado a partir de datos de INEGI, también se utilizó la población reportada por censos y conteos.

Este indicador es una manera de medir la riqueza de la región, ya que representa el valor monetario de los bienes y servicios producidos en Baja California por cada habitante, el indicador además de hablarnos del desarrollo económico de la región también sitúa el nivel de calidad de vida de la población a nivel general, ya que no es posible considerar que toda la población tiene el mismo nivel de renta.

Se observa que, Baja California presenta un aumento del PIB per cápita en el periodo 1993-2009 al pasar de \$66,960 a \$79,450 pesos M.N. con una tasa de crecimiento de 1.07%, en donde los municipios que tuvieron una mayor aportación fueron Mexicali y Ensenada con una tasa de crecimiento de 1.74% y 0.89% respectivamente y el de menor aportación fue Playas de Rosarito con una tasa de reducción de 1.56%, como se detalla en la tabla 14 y figura 25.

Tabla 14. Producto Interno Bruto per cápita (*Precios constantes, base 2003*)
(Miles de pesos M.N./habitante).

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
1993	66.96	55.58	63.12	76.66	54.84	77.02
1994	69.88	57.21	67.51	71.25	58.71	79.60
1995	70.85	60.33	68.78	83.45	62.49	81.72
1996	69.43	58.00	66.69	78.16	60.77	77.55
1997	74.11	61.60	71.23	81.07	64.48	81.19
1998	75.33	58.02	74.33	76.43	66.12	82.78
1999	78.02	58.99	78.66	76.27	68.14	85.47
2000	85.16	63.28	85.86	85.10	74.60	93.18
2001	78.78	57.93	80.38	77.58	67.75	86.29
2002	75.20	55.19	77.48	72.21	62.10	81.74
2003	80.10	66.45	82.30	67.22	62.35	85.63
2004	84.88	73.59	87.01	70.72	64.75	89.49
2005	86.37	70.30	89.37	72.69	66.87	92.21
2006	90.65	72.57	94.28	74.18	70.97	97.17
2007	90.48	70.09	95.01	72.20	70.51	97.45
2008	88.67	69.58	93.46	68.65	67.98	95.30
2009	79.45	64.06	83.16	59.60	60.79	85.47

Cabe destacar que este indicador no considera los recursos naturales que se pudieron haber perdido para la producción de bienes y servicios, o los propósitos de los bienes, si bien es una manera de medir el crecimiento de la economía.

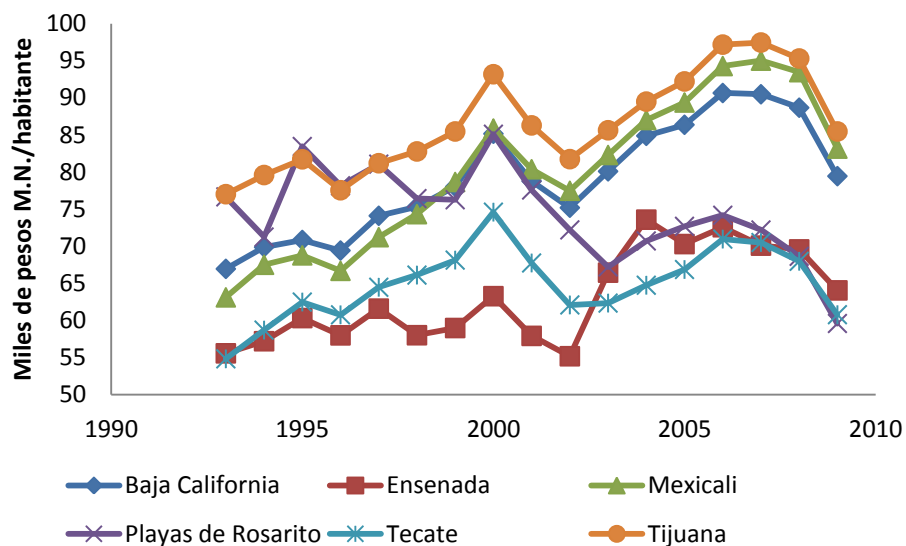


Figura 25. Producto Interno Bruto per cápita.

Indicador: Uso de la energía por unidad del PIB

Las variables consideradas son el consumo de electricidad kilowatts-hora del sector residencial y las viviendas habitadas que cuentan con el servicio de electricidad, dato que fue calculado de acuerdo a estimaciones de censo y conteo 2000, 2005 y 2010 de INEGI.

De acuerdo con los datos de la tabla 15, Baja California tuvo un incremento en el uso de electricidad por unidad de PIB (kWh/\$) en el periodo 1999-2009 al pasar 0.066 a 0.069 esto originado a que el uso de la electricidad está en aumento en el sector económico (ver figura 26).

**Tabla 15. Uso de la energía por unidad del PIB
(Kilowatts-hora/ pesos M.N.).**

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
1999	0.066	0.032	0.054	0.015	0.018	0.026
2000	0.067	0.030	0.058	0.013	0.016	0.025
2001	0.071	0.031	0.061	0.015	0.017	0.027
2002	0.071	0.033	0.061	0.014	0.017	0.027
2003	0.070	0.028	0.061	0.015	0.018	0.027
2004	0.068	0.026	0.057	0.014	0.017	0.026
2005	0.065	0.028	0.055	0.013	0.016	0.026
2006	0.065	0.028	0.055	0.013	0.016	0.025
2007	0.064	0.029	0.055	0.013	0.017	0.025
2008	0.066	0.028	0.056	0.013	0.017	0.025
2009	0.069	0.029	0.061	0.013	0.018	0.026

Este indicador manifiesta el uso de la electricidad respecto al PIB y expresa el consumo de energía entre el desarrollo económico de la región, cual es el consumo que se está teniendo para realizar una actividad entre el valor monetario que se está obteniendo a cambio.

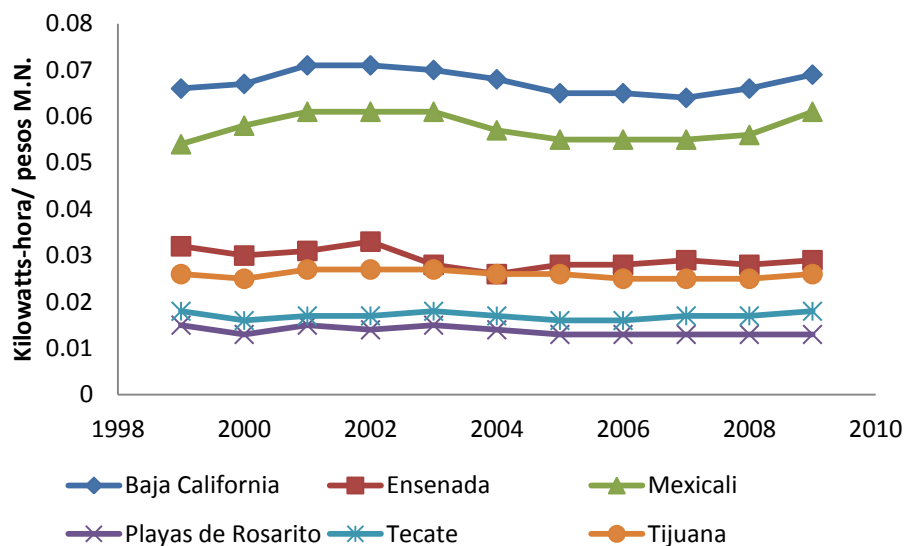


Figura 26. Uso de la energía por unidad del PIB.

Indicador: Consumo de diesel en el sector transporte

El consumo anual de diesel en el sector transporte se calculó de acuerdo a cifras registradas de camiones de pasajeros y de carga en la Secretaria de Planeación y Finanzas del Gobierno del Estado. Considerando como base el estudio de vehículos de Estados Unidos analizado en el documento “Actualización de la Planificación Energética de las ciudades Mexicali y Tijuana, Baja California” (Campbell H.2006), el cual plantea que el modelo promedio de la flota vehicular de la región es de los años 80’s, se tomó el rendimiento para cada tipo de vehículo, así como distancias recorridas en promedio.

De acuerdo con los valores de la tabla 16, Baja California presentó un aumento en el consumo de diesel en el periodo 2001-2010 al pasar de 104.21 a 169.4 litros per cápita con una tasa de crecimiento de 5.5%.

**Tabla 16. Consumo de diesel en el sector transporte
(Litros/habitante).**

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
2001	104.21	29.91	202.44	41.25	32.65	73.15
2002	127.87	30.20	213.20	40.66	74.98	75.78
2003	165.83	56.80	294.90	70.08	81.03	129.35
2004	134.22	54.76	230.44	62.21	72.29	106.71
2005	138.17	56.81	234.83	66.45	74.12	111.23
2006	152.71	67.36	245.84	73.51	77.76	130.51
2007	159.39	69.10	254.15	77.90	79.11	138.49
2008	167.59	69.84	260.72	78.86	80.66	151.09
2009	169.10	69.00	256.89	76.85	79.86	157.27
2010	169.40	69.73	249.14	75.92	80.23	162.54

Mexicali fue el mayor consumidor al pasar de 202.44 a 249.14 litros per cápita anuales en el periodo 2001 a 2010, consumiendo 1.5 veces el consumo medio estatal (ver figura 27).

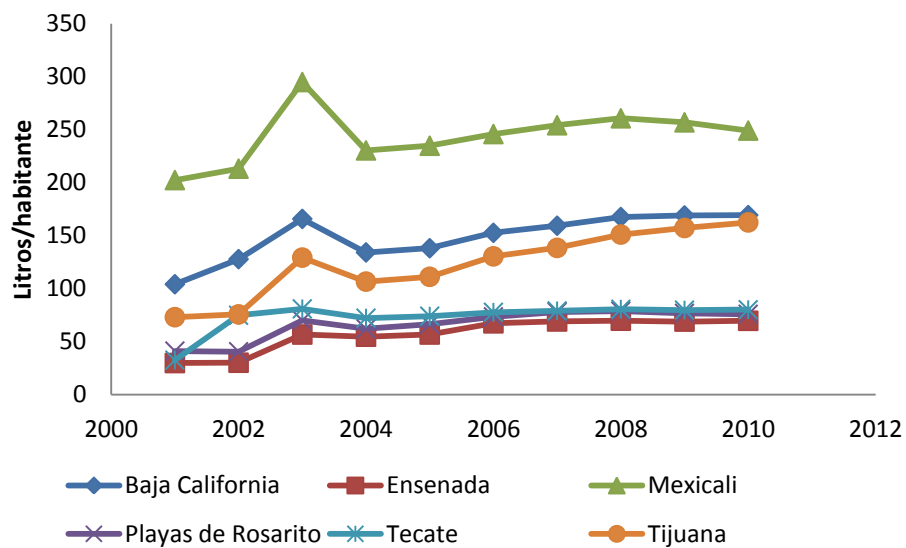


Figura 27. Consumo de diesel en el sector transporte.

Indicador: Consumo de gasolina en el sector transporte

El consumo de gasolina en el sector transporte se calculó siguiendo el mismo procedimiento que el consumo de diesel en el sector transporte considerando ponderaciones de uso respecto al municipio.

El sector transporte presenta un aumento en el consumo de combustible en el periodo de 2001- 2010 con una tasa de crecimiento de 5.93%, como se resume en la tabla 17.

**Tabla 17. Consumo de gasolina en el sector transporte
(Litros/habitante).**

Año	Baja California	Ensenada	Mexicali	Playas de Rosarito	Tecate	Tijuana
2001	614.82	232.06	942.97	700.76	282.21	542.40
2002	770.51	283.81	1,101.66	959.26	478.09	704.10
2003	1,025.86	384.48	1,469.20	1,605.00	525.31	946.09
2004	819.85	202.99	1,171.51	1,373.45	431.59	783.48
2005	884.41	350.26	1,215.51	1,479.69	450.43	837.15
2006	942.46	370.62	1,272.68	1,539.89	464.15	909.96
2007	977.42	383.04	1,317.06	1,549.89	476.17	949.16
2008	1,017.31	395.55	1,351.16	1,540.92	486.96	1,005.77
2009	1,024.49	391.90	1,342.33	1,504.98	480.61	1,029.73
2010	1,032.17	398.29	1,331.77	1,489.72	483.32	1,050.90

De acuerdo a SENER, en el país por cada automóvil operado por motor diesel hay 24 más operados por gasolina. En Baja California el consumo per cápita de la gasolina equivale a 6 veces el del diesel al tener un consumo promedio anual de 169.4 a 1,032.8 litros/ habitante.

En la figura 28 se resume que el mayor consumidor de gasolina per cápita fue el municipio de Playas de Rosarito, con un aumento significativo al pasar de 700.76 a 1,489.72 litros/habitante anuales y una tasa crecimiento media del 8.7%.

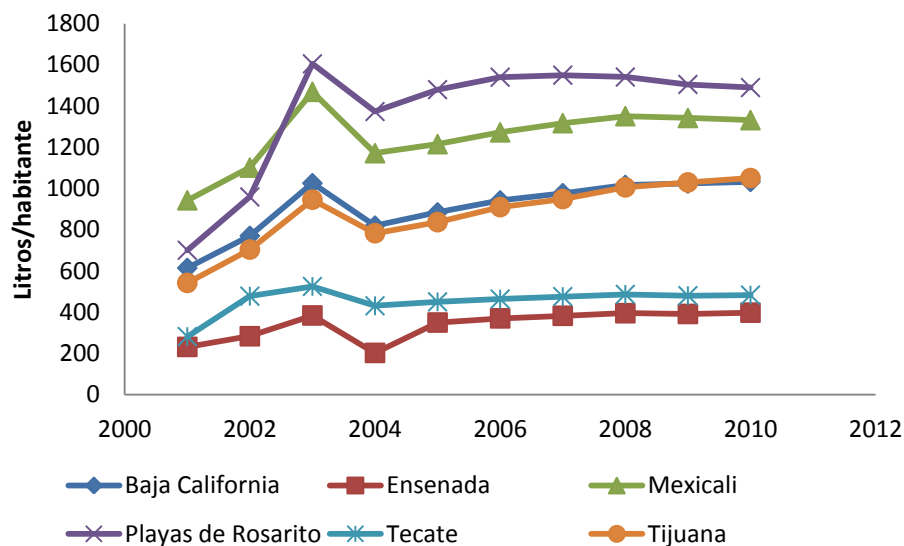


Figura 28. Consumo de gasolina en el sector transporte.

Indicador: Emisiones de GEI en base al consumo energético total en Baja California

Los indicadores de emisiones expresados en kg de CO₂e per cápita fueron calculados a partir de un estudio realizado por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) en junio de 2010 denominado “Emisiones de gases de efecto invernadero en Baja California y proyecciones de casos de referencia”.

Con base en el consumo energético total del Estado se tiene que en el periodo de 1990 a 2010 aumentó de 3,552.39 a 5,197.98 kg de CO₂e per cápita con una tasa de crecimiento del 3.9%, como se detalla en la tabla 18.

Tabla 18. Emisiones de GEI en base al consumo energético total en Baja California
(kg de CO₂e/cápita).

Año	En base al consumo energético
1990	3,552.39
1995	3,882.32
2000	4,221.33
2005	4,816.36
2010	5,197.98

Indicador: Emisiones de GEI en base al consumo de electricidad en Baja California

En la tabla 19, se percibe un aumento importante en las emisiones provocadas por consumo de electricidad en el periodo de 1990 a 2010 al pasar de 698.44 a 1,961.92 kg de CO₂e per cápita con una tasa de crecimiento anual del 10.9% que como se mencionó anteriormente la tendencia indica que es debido a la demanda del sector económico y social.

Tabla 19. Emisiones de GEI del consumo de electricidad en Baja California
(kg de CO₂e/cápita).

Año	Basado en Consumo de Electricidad
1990	698.44
1995	932.70
2000	1,346.81
2005	1,919.51
2010	1,961.92

Indicador: Emisiones de GEI históricas del sector transporte en Baja California

Este indicador muestra las emisiones provocadas por consumo de combustibles en el sector transporte a nivel estatal en el periodo 1990 a 2010.

En la tabla 20, se aprecia que los mayores generadores de kg de CO₂e son los vehículos que transitan en gasolina y son operados por gasolina, al pasar de 1,252.37 a 1,727.38 kg de CO₂e per cápita, seguido por las embarcaciones marítimas con un incremento de 30.10 a 82.41 kg de CO₂e per cápita.

Tabla 20. Emisiones de GEI históricas del sector transporte en Baja California
(kg de CO₂e/cápita).

Año	Carretera- Gasolina	Carretera- Diesel	Carretera- GLP	Aviación	Embarcaciones Marítimas	Ferrocarril
1990	1,252.37	698.44	0.00	192.67	30.10	12.04
1995	1,638.15	369.29	0.00	203.58	118.36	9.47
2000	1,511.64	317.60	48.24	217.10	188.95	4.02
2005	1,592.56	499.21	52.73	168.75	98.44	7.03
2010	1,727.38	580.02	25.36	202.85	82.41	6.34

En la figura 29, se observa también que los vehículos de carretera operados por diesel tuvieron un decremento de GEI en el año 2000, para volver a incrementar al 2010 con una tasa del 6.2%.

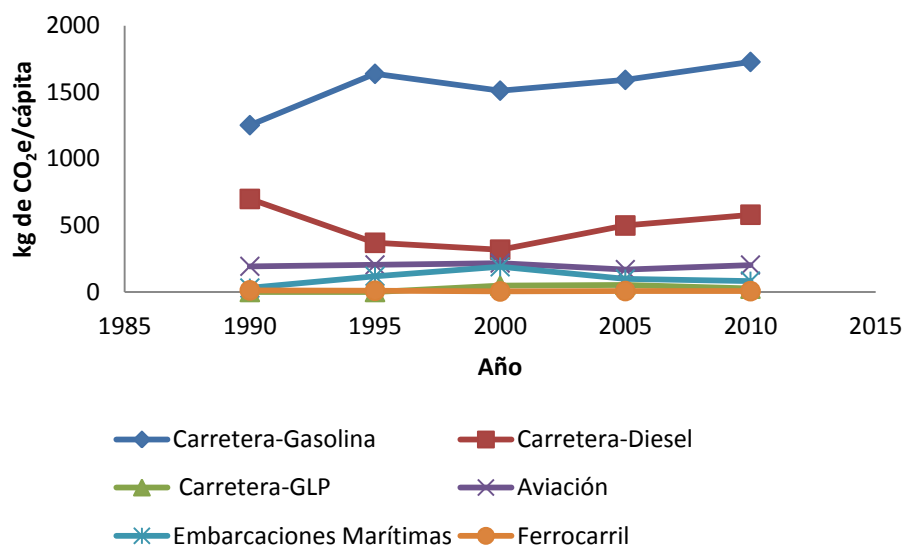


Figura 29. Emisiones de GEI históricas del sector transporte en Baja California.

Resultados adicionales

Utilizando algunas de las variables calculadas y el potencial energético a partir de fuentes renovables, se calculó que es posible abatir el 66.5% del diesel consumido por los camiones de pasajeros solo utilizando el biodiesel a partir de AVR estatal como se detalla en la tabla 21.

Tabla 21. Porcentaje de sustitución de diesel consumido por los camiones de pasajeros.

Mexicali			
2010	diesel pasajeros	8,949,000	l/año
2010	población	936,826	habitantes
2010	consumo	9.55	l/hab-año
Biodiesel- BC	diesel	5,950,000	l/año
porcentaje de sustitución		66.5%	

Otro cálculo arrojó que existe el potencial para suministrar el 27% del consumo de electricidad del sector doméstico, solo utilizando la paja de trigo del Valle de Mexicali como se indica en la tabla 22.

Tabla 22. Porcentaje de sustitución del consumo de electricidad en el sector residencial.

Baja California		
Paja de trigo	793,811	MWh
Residencial-BC	2,889,691	MWh
Porcentaje de cobertura factible	27%	

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

En el trabajo desarrollado se lograron calcular doce indicadores: uno social, ocho económicos y tres ambientales. Se calcularon a nivel municipal, a excepción de los ambientales que se determinaron a nivel estatal.

Además, se consiguió calcular variables de uso relevante, las cuales podrán ser de gran utilidad para el desarrollo de nuevos indicadores. Destacan las siguientes:

- Consumos de diesel en el sector transporte en carretera en el periodo 1990 a 2010, por tipo de vehículo: automóviles, camiones de carga, camiones de pasajeros y motocicletas.
- Consumos de gasolina en el sector transporte en carretera en el periodo 1990 a 2010, por tipo de vehículo: camiones de carga y camiones de pasajeros.
- Producto Interno Bruto municipal en el periodo 1993 a 2010 a precios constantes, base 2003.
- Consumo de energía eléctrica municipal en el periodo 1999 a 2010, por tipo de servicio: doméstico, alumbrado público, bombeo de aguas potables y negras, agrícola, industrial y de servicios.

Las variables utilizadas en el desarrollo de los indicadores energéticos fueron calculadas a partir de información de fuentes formales como INEGI, CFE, SENER, PEMEX, CONAPO, SCIAN, entre otros, lo cual le da un grado de confiabilidad al uso de los mismos.

Los indicadores energéticos se muestran de forma histórica, en un periodo promedio de diez años, lo que da a conocer la tendencia que ha llevado a lo largo del tiempo y se genera una perspectiva a futuro.

Entre los resultados obtenidos, se tiene que, en el periodo 1999-2010, el consumo medio de electricidad de un habitante en Baja California fue 2,974.5 kWh anuales, equivalente al 1.83 veces el consumo nacional del 2009. Mexicali presenta un mayor consumo a diferencia del resto de los municipios por ser una zona industrial y ser una región con clima extremoso. En 2010, un habitante de Mexicali consumió 1.7 veces el consumo promedio estatal.

A su vez, Mexicali fue el mayor consumidor de diesel en el sector transporte de carretera al pasar de 202.44 a 249.14 litros per cápita anuales en el periodo 2001 a 2010, consumiendo 1.5 veces el consumo medio estatal.

Los mayores generadores de kg de CO₂e son los vehículos que transitan en gasolina y son operados por gasolina, al pasar de 1,252.37 a 1,727.38 kg de CO₂e per cápita, seguido por las embarcaciones marítimas con un incremento de 30.10 a 82.41 kg de CO₂e per cápita.

Este trabajo será de utilidad para profesionistas, universidades y estancias gubernamentales, público en general, en: la toma de decisiones relacionadas con el uso de la energía de la región, el control de emisiones de efecto invernadero, la ampliación del uso de energías renovables, la concientización de la sociedad de los altos consumos de energía.

Recomendaciones:

- Realizar el cálculo de los indicadores faltantes propuestos al inicio de la tesis, que por no tener acceso a la información necesaria no fue posible determinar.
- Mantener en actualización constante los indicadores energéticos desgregados por sector productivo y por municipio.
- Realizar prospectivas con los indicadores calculados, esto permitirá tener un escenario energético de la región y se podrán fijar objetivos para reducir consumos como emisiones en nuestro Estado.

Referencias

[1] Clima. Portal ciudadano de Baja California. Consulta: 8 de octubre de 2010. Disponible en:
http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/recursos/clima.jsp

[2] Estadísticas de venta. Comisión Federal de Electricidad. Consulta: 3 de Enero de 2012.
Disponible en: <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Historico.aspx>

[3] Centrales generadoras. Comisión Federal de Electricidad. Consulta: 3 de Enero de 2012.
http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Estadisticas/Paginas/Centrales-generadoras.aspx

[4] Anuarios Estadísticos de Movimientos Portuarios. Consulta: 11 de Diciembre de 2011.
Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/index.php?id=1551>

[5] Prospectiva de petrolíferos 2010-2025. Secretaria de energía, 2010. Consulta: 12 de Diciembre de 2011. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1433>

[6] Anuario Estadístico de PEMEX. Petróleos Mexicanos. Consulta: 12 de Marzo de 2011.
<http://www.ri.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=134&catID=12202>

[7] Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025. Secretaria de energía, 2010. Secretaria de energía, 2010. Consulta: 12 de Abril de 2012. Disponible en:
<http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1433>

[8] México en cifras, Información Nacional por entidad federativa y municipios. INEGI, 2010. Consulta: 23 de Julio de 2012. Disponible en:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=2>

[9] Sistema Ferroviario Mexicano. Consulta: 15 de Mayo de 2012. Disponible en:
<http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/anuario-dgtfm-2011/>

- [10] Indicadores de desarrollo humano y género en México 200-2005. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Consulta: 11 de Mayo de 2011. Disponible en:
- [11] CNN Expansión, 2010. La Rumorosa ya produce energía eólica. Consulta: 4 de Agosto de 2011. <http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/03/09/rumorosa-parque-eolico-baja-california>
- [12] El economista, 2010. Echaran a volar parque eólico La Rumorosa 2. Consulta: 4 de Agosto de 2011. <http://eleconomista.com.mx/internacional/2010/12/15/echaran-volar-parque-eolico-rumorosa-2>
- [13] U.S. Department of energy, 2004. National Renewable Energy Laboratory. Consulta: 22 de Agosto de 2011. Disponible en: http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico_baja.pdf.
- [14] Comisión Federal de Electricidad, 2006. Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía. Volumen 19, No.2.
- [15] Sistemas Fotovoltaicos Baja California, Mexicali. Consulta: 2 de Septiembre de 2011. Disponible en: <http://www.conermex.com.mx/proyectos/sistemas-fotovoltaicos-baja-california,-mexicali.html>
- [16] El economista, 2011. Consulta: 2 de Septiembre de 2011. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/estados/2011/09/13/arima-group-invertira-us560-millones-bc>.
- [17] Roberto Romero. Mediciones de radiación solar en la universidad politécnica de puebla. ANES. Semana Nacional de energía solar.
- [18] Lydia Toscano, 2011. Preliminary assessment of biodiesel generation from meat industry residues in Baja California, México. Biomass & Bioenergy, Vol. 35.
- [19] Ana M. Vázquez. Economic Analysis of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil in Mexicali, Baja California. Energy Science and Technology. Vol. 1, No. 1, 2011.
- [20] Castor oil, 2006. Consulta: 23 de Septiembre de 2011. Disponible en: <http://www.castoroil.in/crop/crop.html>.

- [21] Coronado Marcos, 2012. Emisiones de las quemas de paja de trigo en el Valle de Mexicali, 1987-2010. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 28.
- [22] Comisión estatal de energía, 2009. Central hidroeléctrica Tecate. Consulta: 1 de Noviembre de 2011. Disponible en: <http://energiabc.gob.mx/files/public/pdf/HIDROELECTRICA.pdf>
- [23] López González J., 2010. Cuantificación de energía de una planta mareomotriz. Ingeniería, investigación y tecnología. Vol XI, Num. 2.
- [24] UNAM, 2011. Servicio Mareográfico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. Consulta: 2 de Septiembre de 2011. Disponible en: www.mareografico.unam.mx
- [25] Angélica Rocío Mondragón Pérez, “¿Qué son los indicadores?” *Revista de información y análisis*, num.19, 2002.
- [26] Organismo Internacional de Energía Atómica, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía, EUROSTAT, y Agencia Internacional de la Europea de Medio Ambiente. *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*, Organismo Internacional de Energía Atómica, 2008.
- [27] Sistema de Información energética de Guanajuato. Consulta: 8 de Mayo de 2011. Disponible en: http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/index.php?option=com_wrapper&Itemid=54

Abreviaturas y siglas

ADMICARGA	Administradora de la vía corta Tijuana a Tecate
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONCYTEG	Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato
CRE	Comisión Reguladora de Energía
Ferromex	Ferrocarril Mexicano
Ferrosur	Ferrocarril del Sureste
FIT	Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec
GEI	Gas de efecto invernadero
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
KCSM	Kansas City Southern de México
Mbdpce	Miles de barriles diarios de petróleo crudo equivalente
mmtpe	Millones de toneladas de petróleo equivalente
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PIB	Producto Interno Bruto
SENER	Secretaría de Energía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
SIEG	Sistema de información energética de Guanajuato
TAR	Terminal de Almacenamiento y Reparto
TFVM	Terminal Ferroviaria del Valle de México
UABC	Universidad Autónoma de Baja California
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

Anexos

Emisiones de las quemas de residuos agrícolas en el Valle de Mexicali, 1987-2010

Marcos Alberto Coronado Ortega, Gisela Montero Alpírez, Conrado García González, Armando Pérez Sánchez, Laura Janet Pérez Pelayo

coronado.marcos@gmail.com

Resumen

Baja California, México, se ubica en tercer lugar a nivel nacional con mayor superficie de trigo cultivada, con el 13.5%. Mexicali, capital de dicho estado, es el principal productor de trigo y representa el cultivo más importante de su Valle, con una superficie cultivada en el periodo 2009-2010 de 87,724 Ha. Esto conlleva a la generación de grandes cantidades de paja de trigo como residuo agrícola. Tradicionalmente el 85% de este residuo es dispuesto mediante la quema *in situ* a cielo abierto con el objetivo de preparar la tierra para el próximo ciclo agrícola, el 15% restante tiene diversas aplicaciones. Tal práctica repercute considerablemente en las emisiones de CO, PM y CH₄ al medio ambiente, ocasionando un deterioro de la calidad del aire del Valle y ciudad de Mexicali, así como problemas en la salud poblacional. Por otra parte, se desaprovecha la energía contenida en la paja de trigo, la cual es potencialmente útil como biocombustible. Se presenta aquí un inventario de las emisiones generadas por las quemas de la paja de trigo realizadas *in situ* a cielo abierto, para el periodo 1987-2010. En los resultados destaca que las emisiones totales, considerando las quemas agrícolas progresivas en dirección del viento, pasaron de 25,370 t (1987) a 41,913 t (2010).

Palabras Clave: biomasa, contaminación atmosférica, energía, simulación dinámica

1. Introducción

La quema de biomasa es considerada como una fuente global y significativa de emisiones, contribuyendo con aproximadamente el 40% de CO₂. El 90% de las quemas son iniciadas por el ser humano. Estas quemas inducidas son utilizadas con una diversidad de finalidades, como son deforestación, control de plagas, quemas de maleza y residuos, así como prácticas de cosecha. Se ha estimado que 8,700 Tg de materia seca es quemada en el mundo cada año y representa uno de los factores más importantes que afectan el cambio climático [1]. Los sistemas agrícolas en todo el planeta producen grandes cantidades de residuos. La quema de los residuos en el campo es una práctica común, sobre todo en los países en desarrollo. Tal es el caso de México, donde el sector agrícola se ubica como una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero [2].

Una de las zonas agrícolas más importante del Noroeste del país, es el Valle de Mexicali. Este valle se encuentra ubicado en el estado de Baja California, al Noroeste de México y comparte la misma cuenca atmosférica con el Valle Imperial, Estados Unidos. Su cultivo principal es el trigo, y es conocido como el de mayor rendimiento comercial en el país, con una productividad media en los últimos años de 6.3 t/ha. Dicho Valle, está posicionado a nivel nacional, como uno de los que cuenta con mayor superficie de trigo cultivada. Si bien las condiciones climáticas han sido favorables para este cultivo en la región, el uso de variedades mejoradas de alto potencial productivo y la experiencia del productor en la aplicación de los paquetes tecnológicos para su manejo han sido determinantes para lograr este nivel de producción [3]. La cosecha de trigo tiene asociada la generación de grandes cantidades de paja como residuo agrícola. Tradicionalmente el 85% de este residuo es dispuesto mediante la quema *in situ* a cielo abierto con el objetivo de

preparar los campos para dobles cultivos o para el siguiente ciclo agrícola, el 15% restante tiene diversas aplicaciones [4].

Los productores de trigo del Valle de Mexicali que llevan a cabo estas prácticas, señalan que la quema constituye una práctica tradicional, mientras que otros consideran que la incineración de residuos agrícolas es una necesidad, ya que se elimina maleza perenne, enfermedades y plagas. Sin embargo, se ha demostrado que contrario a las creencias de los productores, la quema calcina el nitrógeno, fósforo y materia orgánica del suelo, además de generar costos adicionales y disminución de rendimientos y por ende mermas en la utilidad al obtener menos volúmenes por hectárea de trigo entre ciclo y ciclo [5]. Otros señalan que al quemar la paja de trigo, se evita el paso de maquinaria, se ahorra tiempo para la preparación del suelo para el siguiente ciclo y dinero en maquinaria, diesel y mano de obra del tractorista. Tal práctica repercute considerablemente en las emisiones de CO, PM y CH₄ al medio ambiente, ocasionando un deterioro de la calidad del aire del Valle y ciudad de Mexicali así como problemas en la salud pública, como son enfermedades respiratorias. Cabe destacar que Mexicali es una de las ciudades con mayor incidencia de morbilidad por Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) del país. Por otra parte, la quema de la paja de trigo representa un desaprovechamiento de la energía contenida en la misma, la cual es potencialmente útil como biocombustible en la generación de electricidad y energía calorífica, así como en el transporte, una vez que es transformado en bioetanol [6]. De esta manera se contribuiría a diversificar la matriz energética regional, incrementando la participación de fuentes renovables.

En 1996, se estimaron 14,325 t y 2,143 t de emisiones de CO y PM respectivamente, provenientes de las quemas agrícolas [7], mientras que para 2003 y 2004, fueron de 13,870.5 t y 1,667.8 t respectivamente [4]. Actualmente no existen estimaciones para años anteriores y posteriores a los mencionados. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo la estimación de las emisiones asociadas a las quemas in situ a cielo abierto de la paja de trigo generada en el Valle de Mexicali, para el periodo histórico 1987-2010.

2. Materiales y Métodos

2.1 Paja de Trigo

Se consultaron las bases de datos de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) de Baja California en relación al sistema producto trigo, con el fin de obtener la serie histórica de superficie cosechada de trigo en el Valle de Mexicali para el periodo bajo estudio que se ilustra en la Tabla 1 [8].

Tabla 1. Serie histórica de la superficie cosechada de trigo, 1987-2010

Periodo	Superficie cosechada de trigo [ha]	Periodo	Superficie cosechada de trigo [ha]
1987-88	53,098	1999-00	74,273
1988-89	50,572	2000-01	68,033
1989-90	48,374	2001-02	64,926
1990-91	60,366	2002-03	74,394
1991-92	79,683	2003-04	85,320
1992-93	79,683	2004-05	80,555
1993-94	80,018	2005-06	75,989
1994-95	69,658	2006-07	79,946
1995-96	53,159	2007-08	81,958
1996-97	67,224	2008-09	88,937
1997-98	54,913	2009-10	87,724
1998-99	50,636		

Para realizar la estimación de la cantidad de paja de trigo generada para cada ciclo agrícola, se consideró un índice de generación de 7.3 t/ha [9]. McKendry reporta un poder calorífico inferior de

la paja de trigo de 17.5 MJ/kg [6]; para el cálculo de la energía total que se libera a partir de su combustión, se consideró un poder calorífico de 12.5 MJ/kg, debido a que la paja de trigo generada en el Valle de Mexicali no ha sido caracterizada.

2.2 Factores de emisión

Para la estimación de las emisiones de CO, PM y CH₄ asociadas a las quemas de la paja de trigo *in situ* a cielo abierto, se adoptaron los factores de emisión reportados por EPA AP-42 [10] que se muestran en la Tabla 2. Dentro del reporte de EPA destacan 2 series de factores que dependen del tipo de técnica de quema agrícola que se implemente:

- A. Quema frontal. Técnica de quema en la cual el fuego avanza en la dirección del viento.
- B. Quema en contracandela. Técnica de quema en la cual el fuego progresa en dirección opuesta al viento.

Tabla 2. Factores de emisión de la quema de paja de trigo a cielo abierto

Tipo de quema	Factores de Emisión [kg/t]		
	CO	CH ₄	PM
Quema frontal	64	2	11
Quema en contracandela	54	1.3	6

Debido a incertidumbre existente acerca de la técnica de quema que se utiliza en mayor proporción en el Valle de Mexicali, se realizaron los cálculos considerando ambas.

2.3 Modelo de simulación

En virtud de que las emisiones asociadas a las quemas agrícolas dependen de una gran cantidad de parámetros, con la finalidad de facilitar el análisis de las emisiones asociadas a las quemas de paja de trigo durante el periodo 1987-2010, se desarrolló un modelo dinámico en Stella[®], cuya versión simplificada se ilustra en la Figura 1.

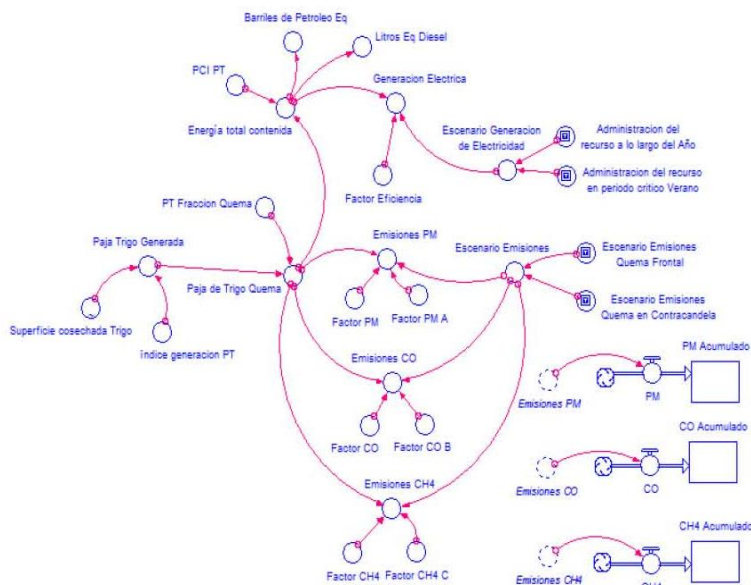


Figura 1. Modelo desarrollado en Stella para análisis de emisiones

Los parámetros utilizados para alimentar el modelo fueron los siguientes: a) serie histórica de la superficie cosechada de trigo b) índice de generación de paja de trigo, c) poder calorífico inferior de

la paja de trigo, d) factores de emisión de CO, CH₄ y PM, para técnicas de quema agrícola, e) factor de eficiencia de generación eléctrica a partir de biomasa y fracción de biomasa considerada para su combustión.

3. Resultados y Discusión

3.1 Emisiones asociadas a la quema de paja de trigo

Los resultados indican que las emisiones totales (CH₄, CO y PM) se habrían incrementado de 25,370 t (1987) a 41,913 t (2010) considerando el tipo de quema frontal, mientras que para la quema en contracandela las emisiones habrían aumentado de 20,197 t (1987) a 33,367 t (2010). Ambos casos representan un incremento del 60.5 %.

Las Figuras 2 y 3 muestran las emisiones acumuladas para el periodo bajo estudio. En el caso de la quema frontal, el CO destaca en el primer lugar con 639,140 t, enseguida el PM con 109,852 t, y por último el CH₄ con 19,973 t. En la quema en contracandela las emisiones de CO, PM y CH₄ son 539,274 t, 59,919 t y 12,982 t, respectivamente.

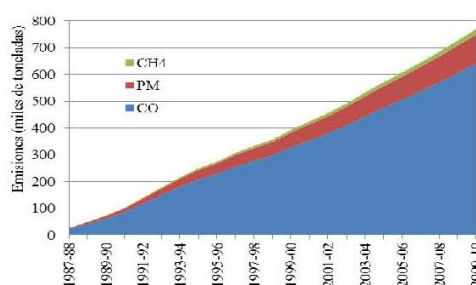


Figura 2. Emisiones acumuladas, quema frontal

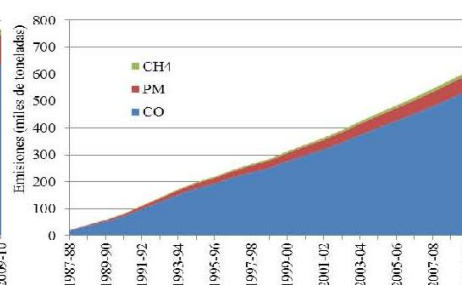


Figura 3. Emisiones acumuladas, quema en contracandela

La quema en contracandela evidencia una disminución en emisiones en comparación con la quema frontal, debido a que ésta progresa en dirección opuesta al viento, propiciándose una mayor interacción con el oxígeno. Esto favorece que los residuos ardan más lentamente y la combustión de la paja sea más completa.

Los resultados obtenidos a partir del modelo se ajustan con bastante aproximación a los calculados, con un error porcentual del 1.07 %. En la Figura 4 se expone el comparativo de emisiones acumuladas entre las calculadas y las obtenidas del modelo, considerando ambas técnicas de quema.

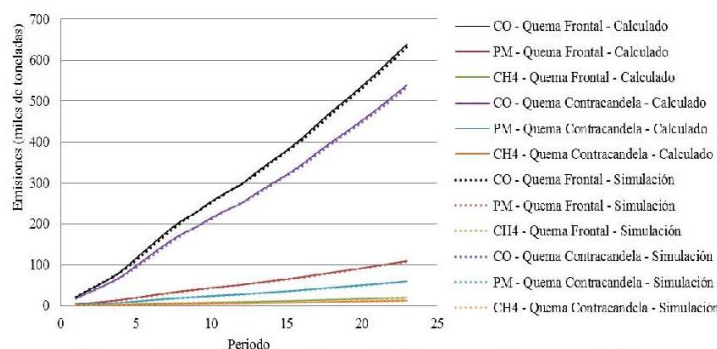


Figura 4. Comparativo de resultados estimados y simulados

3.2 Energía disponible de la paja de trigo

La energía total disponible a partir de la combustión de la paja de trigo periodo 1987-2010 se estimó en 124.8 PJ lo que equivale aproximadamente a 19.5 millones de barriles de petróleo, esto representa el 1.27 % de la producción de energía primaria nacional del año 2009 [11].

4. Conclusiones

La agricultura es una actividad intensiva y de gran importancia para el desarrollo económico de la región. Asimismo, significa la generación de grandes cantidades de biomasa residual como la paja de trigo, que al ser dispuesta mediante la quema *in situ* a cielo abierto, emite año tras año cantidades considerables de CO, CH₄ y PM, contaminantes que afectan la calidad del aire de Mexicali y su Valle. Es necesario implementar medidas para controlar y minimizar las quemas agrícolas y por ende reducir las emisiones asociadas. Por otra parte, existe un alto potencial biomásico que abre una gama de oportunidades para su aprovechamiento en procesos productivos como resultado de su contenido energético, que puede ir desde la generación de electricidad y energía térmica hasta la producción de bioetanol.

Referencias Bibliográficas

- [1] Koppmann R., Czapiewski K., Reid J. “A review of biomass burning emissions, part I: Gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds”. *Atmos Chem Phys Discuss*, 2005, 5: 10455—10516.
- [2] INE, SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. “Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2002”, Septiembre, 2006.
- [3] SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. “Plan rector del sistema producto trigo, Baja California”. Fecha de consulta: 03/05/2011. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto>.
- [4] Quintero M., Moncada A. “Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California”. *Región y sociedad*, 2008. Pp. 3-24.
- [5] SFA. Secretaría de Fomento Agropecuario. “Estudio sobre la utilización de la paja de trigo”, Junio, 2010. Fecha de consulta: 09/05/2011. http://www.oaidrus-bc.gob.mx/oaidrus_bca/
- [6] McKendry P. “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass”. *Bioresource Technology* 83, 2002:37-46.
- [7] INE. Instituto Nacional de Ecología. “Inventario de emisiones de Mexicali”, 1996.
- [8] SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. “Serie histórica de producción de trigo grano”, sistema producto trigo. Fecha de consulta: 09/05/2011. <http://www.oaidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/>
- [9] SENER, BID, GTZ. Secretaría de Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Cooperación Técnica Alemana. “Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para el transporte en México”, Noviembre, 2006.
- [10] EPA. Environmental Protection Agency. “Compilation of air pollutant emission factors”, 1992. EPA AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 2: Solid Waste Disposal, Open Burning.
- [11] SENER. Secretaría de Energía. “Balance nacional de energía”, 2009.

Aceite esencial: potencial de obtención a partir de residuos de naranja en Mexicali, Baja California

José Ramón Ayala Bautista, Gisela Montero Alpírez, Laura Pérez Pelayo, Iliana Aguilar Hurtado,
Armando Pérez Sánchez
iq.ramonayala@gmail.com

Resumen

Se presenta una estimación del potencial de aprovechamiento del residuo de la cáscara de naranja para la obtención de aceite esencial. Las técnicas consideradas para la producción de aceite esencial fueron: destilación por arrastre de vapor (hidrodestilación) y prensado mecánico, tomando como base la producción de naranja en el municipio de Mexicali. Este municipio forma parte de Baja California, estado ubicado al noroeste de la República Mexicana, presenta una importante producción de naranja en el país y cuenta con una superficie de 161.5 hectáreas dedicadas a este cultivo, con un rendimiento de 18.69 toneladas por hectárea, que lo sitúa por arriba de la media nacional. Tal producción es utilizada para satisfacer las necesidades de la población. Como consecuencia del consumo de este cítrico, se generan grandes cantidades de desechos de naranja, que constituyen residuos sólidos urbanos, cuya disposición se destina a un relleno sanitario, por lo que es deseable su aprovechamiento para la elaboración de productos de alto valor agregado y a la vez contribuir a la eliminación de una fuente de contaminación importante. Con base en un consumo de naranja anual per cápita nacional reportado en 2008, que fue de 37.2 kilogramos, se estimó una generación de 12,711 toneladas de desechos sólidos de cáscara de naranja en Mexicali y un potencial para producir 66.5 toneladas anuales de aceite esencial.

Palabras Clave: *cítricos, hidrodestilación, prensado*

1. Introducción

El municipio de Mexicali, se encuentra ubicado en el estado de Baja California en la región noroeste de la República Mexicana, al norte colinda con los Estados Unidos de América, específicamente con el estado de California; al sur con el estado de Baja California Sur; al este con el Golfo de California y al oeste con el Océano Pacífico. A largo de su historia Mexicali ha tenido grandes problemas de contaminación de aire, suelo y agua, es por ello que lamentablemente ocupa el quinto lugar de la lista de ciudades más contaminadas de México según lo reporta el Instituto Nacional de Ecología (INE) y gran parte de esta contaminación ha sido generada por la inadecuada disposición de los residuos de la población, los cuales se dividen en residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos. [1], [2]

En 2009, el estado de Baja California representado en la Figura 1, dispuso aproximadamente 55,000 toneladas de residuos sólidos urbanos, mezcla constituida de orgánicos, reciclables y otros residuos. De ahí el interés y necesidad de aprovechar parte de ellos y recuperarlos como fuente de materias primas para procesos de generación de energía, o como materiales remediadores de suelo, por citar algunos de sus usos. Es así que la Cáscara de Naranja Residual, (CNR) representa una oportunidad para producir Aceite Esencial de Naranja (AEN). Dicho aceite es utilizado en industrias como la farmacéutica, alimenticia y de limpieza, siendo de importante valor por sus propiedades aromáticas.



Figura 1. Mapa de la república mexicana a la derecha, a la izquierda Baja California y el municipio de Mexicali resaltado en Amarillo [3], [4]

Los aceites esenciales son una combinación de compuestos secundarios de las plantas como terpenos y compuestos fenólicos [5]. Los terpenos son una familia de compuestos derivados del isopreno, sintetizadas por la misma planta, gracias a una serie de reacciones metabólicas [5]. Estas combinaciones de sustancias no son de vital importancia para la planta y en combinación, sus características pueden darle el olor característico. En el caso del AEN, el compuesto de mayor presencia es el d-limoneno, y se reportan concentraciones por alrededor del 90%. En la Figura 2, se muestran algunas estructuras correspondientes a los compuestos que se encuentran comúnmente en el AEN [6].

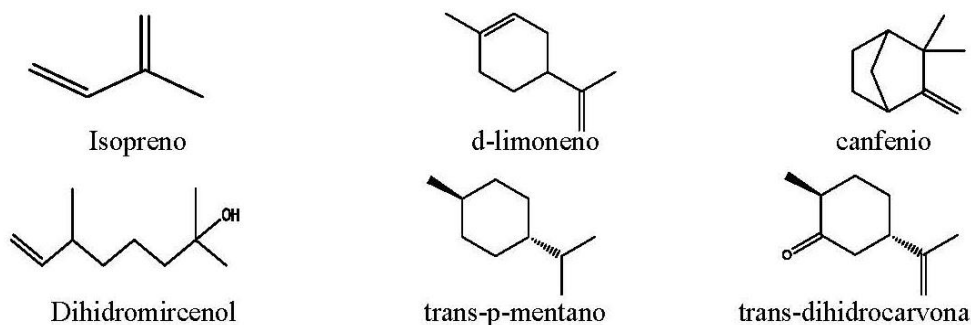


Figura 2. Compuestos más representativos del AEN. El isopreno no se encuentra presente en el aceite esencial, pero se incluye debido que se derivan el grupo funcional de los terpenos

Los métodos de extracción que generalmente se utilizan para obtener aceite esencial son: hidrodestilación o prensado mecánico. El primero consiste en hacer ebullición de CNR en agua, donde el vapor de la misma arrastrará los compuestos por afinidad, esta corriente posteriormente se hace pasar por un intercambiador de calor y finalmente se separa por densidades, quedando el aceite esencial en la parte de arriba [7]. En el caso de prensado se utiliza maquinaria para romper la epidermis de la cáscara donde se encuentra el aceite, posteriormente comienzan a crearse áreas con mucha presión por la acción de la maquinaria, pero otras donde la presión es menor, provocando el flujo de aceite por éstas y finalmente, la cáscara se raspa produciendo pequeños trozos de residuos [8].

2. Desarrollo

La producción nacional de naranja en 2009 fue de 4, 193,484.44 toneladas, donde el 85% del total de esta producción la aportó el grupo conformado por 5 estados: Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí y Puebla, según se aprecia en la Figura 3 [9], [10].

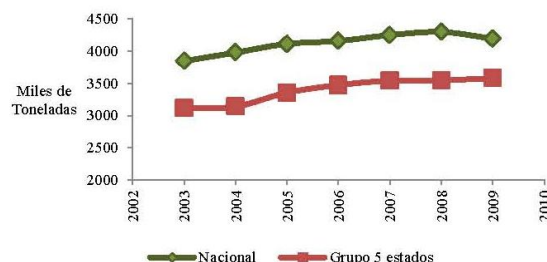


Figura 3. Comparativa de la producción nacional de naranja contra el grupo de los 5 estados de mayor producción en el país (Veracruz, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Puebla)

Baja California aporta el 0.083% de la producción nacional de naranja, mientras que el municipio de Mexicali influye en un 0.07% de este total nacional. En el estado de Baja California y hablando específicamente del área de estudio, es decir el municipio de Mexicali, las actividades agrícolas se desarrollan en el denominado Valle de Mexicali, con una superficie susceptible para siembra de 200 mil hectáreas, lo que representa una superficie del 62% hablando del Valle de Mexicali [3].

El Municipio de Mexicali, produce en promedio, cerca del 88% de toda la naranja cosechada en Baja California, y a pesar de que en 2009 este porcentaje disminuyó a 86%, con un total de 3,018 toneladas, como se destaca en la Figura 4, Mexicali permanece como el municipio más importante en la producción de naranja en el estado [9].

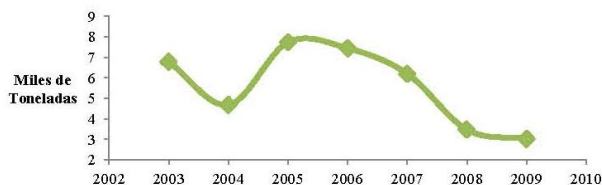


Figura 4. Producción de naranja en el municipio de Mexicali 2003-2009

Sin embargo, las toneladas de naranja producidas en el municipio de Mexicali solo satisfacen el 8% de la demanda de la población actual, como se muestra en la Figura 5, por lo que es necesario abastecerse de la naranja proveniente de las entidades del grupo de productores mencionados, o bien mediante la importación de otros países. [9]-[11]

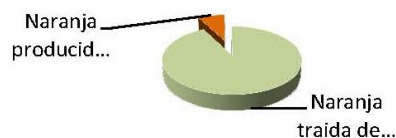


Figura 5. Porcentaje de satisfacción de demanda de naranja en Mexicali en 2009

3. Metodología

Según el reporte del censo de población 2000, el número de habitantes registrados en Mexicali fue de 784,709 [11], para el censo de 2005 ascendió a 865,962 y finalmente en el 2010 a 936,823 personas. Con base en tales datos se estimó entonces el comportamiento de la población a lo largo de los años 2003-2009, los resultados se resumen en la Tabla 1. Así, en conjunto con los indicadores de consumo de naranja por habitante se estima la naranja consumida para el municipio. [12]

Tabla 1. Concentrado de información producción-consumo del municipio de Mexicali

Año	Población (hab)	Consumo Per cápita Nacional (kg/hab/año)	Consumo (Ton/año)	Producción (Ton/año)
2003	859,907	38.0	32,676.48	6,769
2004	879,343	38.7	34,030.56	4,679
2005	895,962	39.7	35,569.69	7,735
2006	909,766	39.7	36,117.71	7,441
2007	920,754	40.1	36,922.25	6,192
2008	928,927	37.2	34,556.09	3,468
2009	934,284	38.9	36,343.66	3,018
Media		38.9	35,173.78	5,614

Tomando en cuenta los valores de producto cultivado así como la cantidad de naranja que se consume en Mexicali, es posible estimar la cantidad de materia disponible en la región, la cual generará el residuo de cáscara de naranja para su posterior procesamiento en AEN. En 2009 con la cantidad de naranja producida en México existió un potencial de 3000 toneladas de AEN con un rendimiento aproximado del 0.3% [10]. Este valor se tomó como el mínimo rendimiento de producción de AEN. A pesar de que México produce AEN, es necesario realizar importaciones del orden de los 378.54 toneladas, al año para satisfacer la demanda nacional [11].

En la Figura 6 se muestran las 3 partes principales que constituyen a la naranja [13]: cáscara de naranja o membrana carpelar (22.11% - 26.80% w/w); albedo (sección blanca después de la cáscara: 10.89% - 13.20% w/w) y pulpa (60% - 67% w/w).

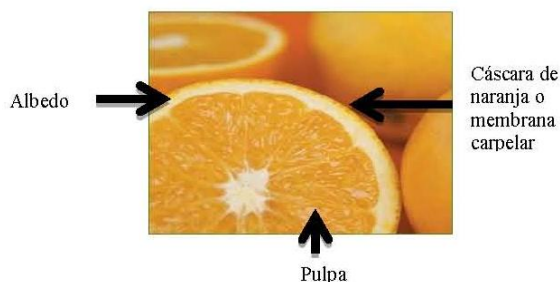


Figura 6. Esquema de las 3 principales partes de la naranja

Dado que el comportamiento de la producción de naranja tanto a nivel municipal como a nivel nacional difiere año con año, se tomaron las cifras del último año reportado, es decir el 2009.

4. Resultados y discusiones

La Tabla 2 muestra los resultados de potencial de producción anual de AEN en Mexicali.

Tabla 2. Potencial de producción anual de aceite esencial en Mexicali

Descripción	Naranja Disponible (Ton/año)	Ton Aceite esencial
En base a la naranja cultivada en la región.	3,018.25	2 - 2.42
En base a la naranja cultivada e importada	36,343.66	24.11 - 29.22

Lo anterior se traduce en una producción potencial mínima de 2 - 2.42 toneladas de AEN al año usando como base únicamente la naranja cultivada en la región.

5. Conclusiones

La utilización de la cáscara de naranja residual, constituye una oportunidad para reconvertir residuos en materia prima de gran utilidad para la obtención de aceite esencial, particularmente el D-Limoneno.

Cabe destacar que aunque este aceite esencial es producido en México, es necesario importar 378.54 toneladas para satisfacer la demanda nacional.

De llevarse a cabo tal recuperación tan sólo en el residuo generado correspondiente al Valle de Mexicali, se reducirían las importaciones de AEN equivalentes a un importe de 31,704 dólares.

Cabe mencionar que a partir de experimentación realizada, se incrementó de manera sustancial la cantidad de aceite esencial recuperado de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- [1] D.O.F. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. 28-01-2011
- [2] D.O.F. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. 19-06-2007
- [3] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Abril 2011. www.inafed.gob.mx
- [4] Centro Nacional de Metrología. Abril 2011. www.cenam.mx
- [5] Kanerva S. "Plant secondary compounds and soil microbial processes in carbon and nitrogen cycling in relation to tree species", *Department of Applied Chemistry and Microbiology, Faculty of Agriculture, University of Helsinki* pp. 10-14
- [6] Yáñez Rueda X, Lugo Mancillo L. Parada Parada D. Y. "Estudio del aceite esencial de la cascara de la naranja dulce (Citrus Sinensis, variedad Valenciana) Cultivada en Labateca (Norte de Santander Colombia)", *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. Año/vol 5 num 001 Universidad de Pamplona, Bucaramanga, Colombia*. pp. 6-7.
- [7] Husnu Can Baser, K., Buchbauer G. "Handbook of essential oils, Science Technology, and applications." pp. 119-141.
- [8] Giovanni D. Di Giacom A. Citrus. "The genus citrus, Medicinal and aromatic plants, industrial profile". 2002 Taylor & Francis. 642 paginas.
- [9] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Abril 2011. www.siap.gob.mx
- [10] Asociación Nacional de Procesadores de Cítricos, "El uso de agroquímicos ante la problemática internacional de los residuos."
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Abril 2011. www.inegi.org.mx
- [12] Monografía Naranja, Financiera Rural, Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (2009)
- [13] U.S.D.A. Abril 2011. www.ars.usda.gov/is/espanol/kids/smalltown/story1/sp.smalltown

Feasibility Study for Bioenergy Production from Waste Vegetable Oil

Marcos Coronado, Gisela Montero, Conrado García,
Laura Pérez
Institute of Engineering
Universidad Autónoma de Baja California, UABC
Mexicali, México
coronado.marcos@gmail.com

Abstract— The results of a feasibility study to produce energy from residual biomass are presented, specifically waste vegetable oil (WVO) that are generated in the restaurant industry in Mexicali city. The improper handling and disposal of such waste, cause environmental problems like clogging and overflows in sewage system, among others, it increases maintenance and wastewater treatment costs. The reutilization of WVO as inputs in energy production is a sustainable option for its disposal, besides offering the opportunity to replace the currently conventional energetics used it contributes to the mitigation of environmental impact. To estimate the volumes of WVO generated and develop a dynamic model to predict their behavior, a survey was applied to restaurants. The following results were obtained considering a period of 10 years: an average WVO generation of 3.09 L per capita annually and a total of 3,000,000 L per year, sufficient volumes to make feasible its reuse in production processes as biodiesel and electricity.

Keywords— Bioenergy, Power generation, Simulation, Waste Vegetable Oil.

I. INTRODUCTION

Throughout history, the biomass has been used by humans as a source of renewable energy. It is defined as organic matter coming from agriculture, livestock and forestry activities, among others. It is also the raw material needed for biofuels production, fuels produced by the application of sustainable technological processes that meet specifications and quality standards [1]. The energy of biomass can be exploited to generate electricity and heat. The biomass is also able to be converted into liquid biofuels such as biodiesel and bioethanol and gas as biogas. Currently, the use of biomass has been resurged due to inevitable depletion of worldwide oil reserves, as well as the rising price of conventional fuels. Biomass provides about 10% of world primary energy [2]. In Mexico, biomass lies in third place with a share of 3.5% in primary energy production, which include only wood and sugarcane bagasse with 2.6% and 0.9% respectively (Fig. 1).

Biomass is an option that may be key in electricity generation and biofuel production, particularly in regions that do not have own oil resources such as the State of Baja

California. This state is located northwest of Mexico, bordered on the north by the State of California of United States. Its only sources of primary energy to power generation are: geothermal, located in the Mexicali Valley, known as Cerro Prieto, with an installed capacity of 720 MW and wind in La Rumorosa, Tecate, with an installed capacity of 10 MW. Its electrical system is isolated from the national grid and connected with United States grid.

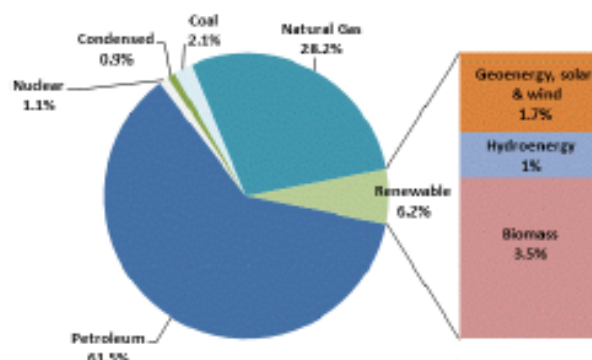


Figure 1. Structure of primary energy production in Mexico, 2009 [3].

Mexicali, capital of Baja California, has a population of 972,409 inhabitants [4]. Among its strengths include the skilled workforce, water and energy supply, and a favorable economic environment. In the environmental approach, Mexicali presents several problems of air quality, soil and water, this is largely due to: a) the high density of maquiladora industries, b) an extensive and obsolete fleet of vehicles from both the transport sector, as agricultural and domestic sectors, c) agricultural burning and garbage, d) improper disposal of waste, e) the insufficient paving that generates frequent dust storms, resulting in high emissions of pollutants, highlighting the greenhouse gases responsible for global warming, which also affect population health. As a result, Mexicali was located in the first place of CO and PM₁₀ emissions, exceeding the permissible limits of environmental regulations and sixth in ozone nationally per capita in 2005 [5]. In regard to fuels, there is no use of biofuels in the region. It should be noted that

diesel, gasoline and LPG come from the south Mexico, while natural gas is imported, from United States. Therefore, it is necessary to develop innovative systems to build a sustainable city encouraging a culture of rational energy use, able to cater to a population that is growing. Due to the dynamics of population growth, it is assumed that fuel demand will tend to rise, leading to develop new alternatives for energy assurance.

The Energy Secretariat in Mexico, SENER, considers appropriate to incorporate animal waste, residual biomass (such as WVO) and industrial waste as energy sources, which may be relevant for the country's energy structure and they could contribute to diversify energy sources and more intensive use of renewable energy sources. This is how the waste vegetable oil (WVO) are configured as a viable option in the production of bioenergy, as they represent an opportunity to mitigate those problems associated with improper disposal as clogging in the sewage system, causing overflows toward the street which endangers health of the exposed population and the proliferation of pests and odors, implying high maintenance costs. It also revalues such waste as raw material to produce energy for the purpose of aiding in the diversification of energy matrix and sustainable development of the city, where transport depends entirely on the use of fossil fuels.

It was necessary to estimate WVO generated in the restaurant industry of the city and develop a dynamic model that facilitate the structuring of a generation behavior forecast for a period of 10 years, and thus evaluate the feasibility of biodiesel production based on energy demand of public transport sector and electricity generation.

Biodiesel is defined as a mixture of mono alkyl esters of long chain fatty acids derived from renewable lipid such as vegetable oils or animal fats [6]. It is a fuel that has properties and characteristics similar to diesel, so it can be used as a substitute for the latter; it is also friendlier to the environment due to their renewable nature.

I. INVENTORY STUDIES OF WVO

At present there are few existing studies, where was been estimated the WVO availability, with the purpose of evaluating its feasibility to reuse it as inputs in energy production. Internationally, in United States, the National Renewable Energy Laboratory, NREL, developed a study for the purpose of estimating the amount of WVO generated in restaurants. The results established a generation of 4 kg/year/person, while per restaurant was 2,843 kg/year [7]. The paper concludes that the amount of generated WVO is closely related with: the number of inhabitants and the number of restaurants. In Buenos Aires, Argentina, was estimated the potential production of biodiesel from WVO considering all sectors, not just the food restaurant sector, it was 8.97 kg per capita [8]. Moreover, in Ireland was estimated 5.2 kg of WVO per capita [9]. At national level (Mexico), in Mexico city was done an study involving 1,200 restaurants, 18 markets, 236 schools and 25 sports centers, aiming to collect the WVO and

convert it into biodiesel. The results of this study have not yet been published [10].

At the regional level (Baja California), there is an environmental program called "Trap the Grease" promoted by the government, which was initiated in 2009 with the aim of collecting the WVO generated in restaurants, and produce biodiesel. Currently a large fraction of the WVO collected is exported to United States for processing it into biodiesel, and finally is imported in order to use it in machinery and equipment of State Public Utility Commission [11].

II. MATERIALS AND METHODS

A. Dynamic model

To develop the dynamic model, the information was obtained from a survey to the restaurant industry in 2008. Databases of the National Institute of Statistics and Geography were consulted, which identified the existence of 1,094 restaurants in Mexicali [12]. Although cuisine is diverse, restaurants were classified by main types of cuisine: fast food, chinese, mexican, international, japanese, italian and seafood. The survey sample size was 10%. The information gathered was related to WVO generation, disposal, sale of waste, etc.

The variables used to feed the model are: a) dynamics of population growth taken from the population projections for the period 2008-2017 [4], b) GDP of restaurant sector, c) types of cuisines, d) volumes of vegetable oil, e) disposal of WVO. From the results of the model was evaluated the potential for biodiesel production and electricity generation from WVO, and the associated emissions. Below is a simplified model (Fig. 2) conducted in the simulator Stella®.

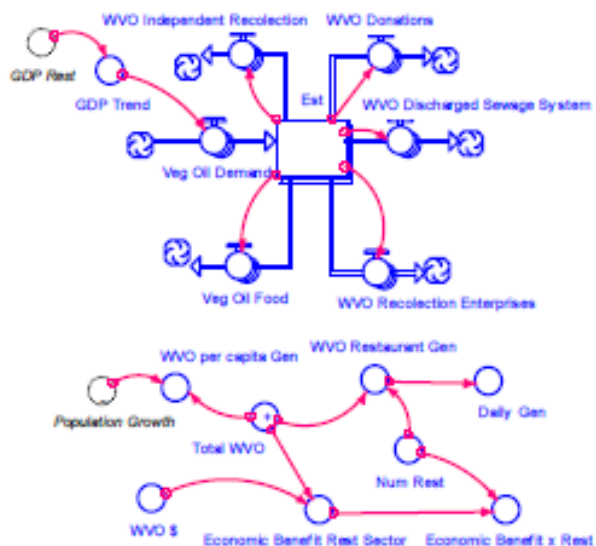


Figure 2. Simplified dynamic model in Stella®.

B. Emission factors in electricity generation from different power plants and fuels

To calculate emissions, emission factors were applied to electricity generation in Baja California [13]. With these factors and fuel consumption for electricity generation CO_2 and SO_2 emissions were estimated. Table I presents the emission factors.

Table I. Emission Factors

Energetics	Unit	SO_2	CO_2
Geothermal vapor	kg/t	0.051	8.46
Diesel	kg/m ³	8.52	2,659.00
Natural gas	kg/m ³	0.0000096	1.92

C. WVO as a source of raw material in biodiesel production and its use on public transport

To determine the potential of biodiesel production from WVO, was used a 80% conversion factor of WVO to biodiesel, obtained experimentally in the laboratory of biofuels at Engineering Institute, Autonomous University of Baja California, using WVO samples from different types of restaurants in the area. In order to evaluate the feasibility of using biodiesel in the transport sector, it was considered the energy demand of the sector in terms of annual diesel consumption. The calorific value used for diesel was 37.43 MJ/L. A fraction of energy that could be supplied from biodiesel was determined. With the emission factors of CO , CO_2 , SO_x and PM_{10} the diesel emissions were calculated, and later with the emission reduction percentages reported for biodiesel [14] were estimated the emission reductions by the replacement of diesel with biodiesel.

III. RESULTS

A. Simulation

The results of the survey highlighted a WVO generation of 2,100,000 L in the restaurant industry. The fast food had the highest participation with 51%, followed by the international cuisine (14%), Mexican food (13%) and Chinese cuisine (10%). The remainder was seafood, Japanese and Italian. Thus, the results showed that the oil used in food preparation, the 41.45% is consumed in food or it is discarded in the kitchen, while the remaining 58.55% is converted to WVO. This percentage of waste has different destinations, a third of such waste is collected by companies engaged in such activity and is subsequently exported to the United States for its use in biodiesel production. Annually, a volume of 88,300 L of WVO is sent to municipal sewer. An alarming statistic demonstrated that in Mexicali is a common practice the WVO donation for

use in cooking, which can create health problems for the content of carcinogens.

Through the simulation model, the estimated average annual generation of WVO was 3,000,000 L for the period 2008-2017. To determine the availability of that waste is considered a factor of 80% due to the fact that WVO usually contains impurities such as food and water, solid waste, so the available volume would be 2,400,000 L. The WVO generation of restaurant would be on the order of 2,194 L. WVO currently represents an economic benefit to the restaurants, a liter is sold between \$ 0.30 and \$ 0.50 U.S. dollars.

B. Electricity generation potential from WVO and associated emissions

From the estimated 2,400,000 L of WVO, was calculated the potential of electricity generation to determine the capacity of a plant operating with WVO. Gross generation is estimated at 2.88 GWh, which requires a plant with a capacity of 0.5 MW. Fig. 3 exhibits a comparison of CO_2 and SO_2 emissions for the same gross generation, from different power plants operating with different energetics in the region.

The results indicate that a gross generation of 2.88 GWh from turbogas-diesel plant with an efficiency of 16.57% would generate as much CO_2 as SO_2 , in amounts of 4,301 and 13.78 t respectively. A simple cycle plant (natural gas) with efficiency of 41.8%, would generate 1,344 t of CO_2 and a very low level of SO_2 emissions, almost negligible due to low sulfur content in natural gas. The CO_2 emissions for a power plant (WVO) with efficiency of 16.23% would rise until 1,127 t. A combined cycle plant (natural gas) with an efficiency of 50% would generate 1,124 t of CO_2 . The CO_2 emissions for a plant (biodiesel) with efficiency of 16.23% would be 958 t. The emissions of SO_2 in the case of WVO and biodiesel would be equal to zero, since both fuels do not contain sulfur. The CO_2 and SO_2 emissions for a geothermal plant with efficiency of 16.23% would be 195 and 1.18 t respectively.

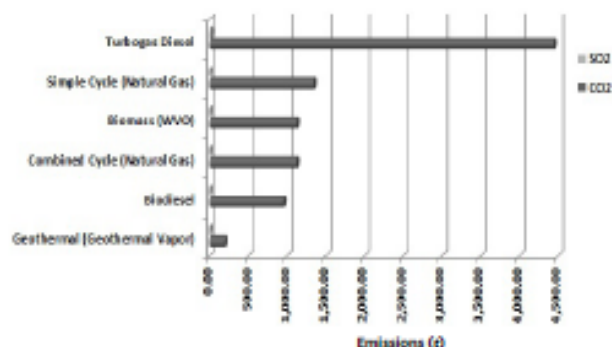


Figure 3. Comparison of CO_2 and SO_2 emissions in electricity generation.

C. WVO potential use in biodiesel production and emission reduction

Biodiesel represents an opportunity to reduce emissions because it is obtained from vegetable oils, so it is a chance to reach standards of sustainability in the transport sector. The demand of diesel for public transport sector in Mexicali was estimated around 7,170,000 L per year, it means 268,373 GJ of energy [15]. By using WVO it is feasible to produce 1.92 million liters of biodiesel annually. It represents 63,225 GJ. This would supply 24% of the energy demand in the transport sector. Moreover, the environmental benefit that involves replacing diesel with biodiesel is to reduce emissions by about 3,896 t of CO₂, 14 t of CO, 9 t of SO_x and 4.5 t of PM₁₀.

D. WVO and land use

The use of waste biomass for energy purposes does not require arable land and has the added benefit of providing a sustainable waste management. Considering the WVO availability in 2,400,000 L of annual average forecast for the period 2008-2017 in the city of Mexicali, it was estimated an energy potential of 64,800 GJ/year. If this energy would be provided from rapeseed oil, it would take 14.1 km² of land (accounting for 0.60% of the total area of farmland in the Mexicali Valley) to provide the seed needed to get this energy [9]. This is an example of the potential of biofuels from WVO to minimize land use.

CONCLUSION

While electricity generation and biofuels from residual biomass is feasible, it should be noted that Mexico still lacks the ideal platform for the promotion of projects of this nature, existing locks for sale, because the legal framework still does not allow it. Therefore, it is necessary that government, productive and educational sectors form a synergy to assist in the promotion, dissemination and implementation of projects related to the use and development of sustainable energy technologies in the region.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the Mexican National Council for Science and Technology (CONACYT) and the Institute of Engineering from Universidad Autónoma de Baja California, for their support in the realization of this work.

REFERENCES

- [1] SENER. Secretaría de Energía. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, 2008. Available: <http://www.sener.gob.mx>
- [2] IEA. International Energy Agency. Biomass for Power Generation and CHP, 2007. Available: <http://www.iea.org/techno/essentials.htm>
- [3] SENER. Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía, 2009. Available: <http://www.sener.gob.mx>

- [4] CONAPO. Consejo Nacional de Población. Proyecciones de Población para el Municipio de Mexicali, 2009. Available: <http://www.conapo.gob.mx>
- [5] M. Zuk, M. G. Trzinstun and L. Rojas. Tercer Almanaque de Datos y Tendencias de la Calidad del Aire en Nueve Ciudades Mexicanas", INE-SEMARNAT, 2007. <http://www.ine.gob.mx>
- [6] ASTM. American Standard for Testing and Materials, 2008. ASTM D6751-08.
- [7] G. Wilnee. Urban Waste Grease Resource Assessment. Report No. NREL/SR-570-26141, 1998.
- [8] E. Alves. Biodiesel como Producto del Reciclado de Aceites Vegetales Usados. Logística Asociada. Bachelor Thesis. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina, 2006.
- [9] A. Singh, B. Smyth and J. Murphy. "A biofuel strategy for Ireland with an emphasis on production of biomethane and minimization of land-take", 2009. Renewable and Sustainable Energy Reviews:12.
- [10] R. Sarmiento. "Primeros desarrollos de producción de biodiesel en México", 2008. Available: <http://www.energia Debate.com/Articulos/Julio2008>
- [11] CESPT. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. "CESPT Pionero en la utilización de biocombustibles ecológicos", 2009. Available: <http://www.cespt.gob.mx/Noticias/VerNoticia.aspx?id=130>
- [12] INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sistema Automatizado de Información Censal, versión 5.0 (SAIC 5.0), 2004.
- [13] P. Miller, Z. Patterson and S. Vaughan. "Estimating Future Air Pollution from New Electric Power Generation", Commission for Environmental Cooperation of North America, 2002.
- [14] EPA. United States Environmental Protection Agency. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Report No. EPA420-P-02-001, 2002.
- [15] C. Peñalza. Evaluación Técnica y Económica de Producción de Biodiesel. Caso: Demanda del Sector Transporte Público de Mexicali, B.C. Master Thesis. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, 2010.



<http://www.engii.org/cet2011/Home>

World Congress on Engineering and Technology

Attendance Confirmation

Oct. 28th-Nov. 2, 2011

Dear author,

It has been confirmed that you have attended World Congress on Engineering and Technology (CET2011) in Shanghai, China.

ID: 22353

Title: Feasibility Study for Bioenergy Production from Waste Vegetable Oil

Author: Marcos Coronado, Gisela Montero, Conrado Garcia, Laura Perez

This conference is organized by IEEE Beijing Section, IEEE Wuhan Section, Tongji University and Wuhan University. There will be many distinguished scholars from all over the world to join this meeting, and you will see many exciting new fronts in the engineering and technological subjects. Traveling and lodging fees are not included.

Thanks for your support!

Best regards,

Linda Luo

The secretary of CET Organizing Committee

CET 2011 Organizing Committee

Guangdong Hotel Shanghai, No.328 Yixian Road,

Hongkou District Shanghai, Shanghai City, China

Tel: +86 - 186 2773 7240

Email: cet@engii.org

Website: <http://www.engii.org/cet2011/>





Otorga la presente **CONSTANCIA** al

Ing. Laura Janet Pérez Pelayo

por su asistencia al foro

**“SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REGIONES FRONTERIZAS”**

Llevado a cabo el día 8 de Junio de 2011 en la ciudad de Mexicali, Baja California

LIC. DAVID MUÑOZ ANDRADE
DIRECTOR GENERAL
COMISION ESTATAL DE ENERGIA DE BAJA CALIFORNIA

REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Enero 9 de 2012.

Dra. Gisela Montero Alpírez
Instituto de Ingeniería, UABC
Presente

Estimada Dra. Montero Alpírez:

Por medio de la presente tengo el agrado de comunicarle que su trabajo **EMISIONES DE LAS QUEMAS DE PAJA DE TRIGO EN EL VALLE DE MEXICALI, 1987-2010**, bajo la autoría de Marcos Alberto Coronado Ortega, Gisela Montero Alpírez, Conrado García González, Armando Pérez Sánchez, Laura Janet Pérez Pelayo, ha sido aceptado en el número especial sobre Residuos sólidos correspondiente al Volumen 28 del año 2012 de la Revista Internacional de Contaminación Ambiental.



Atentamente

Dra. Sara Ojeda Benítez
Editora

<http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica.html>