



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**Panorama Eléctrico de Baja California Sur:
Estado Actual, Proyecciones y Optimización Numérica
del Recurso Eléctrico**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos
Naturales
(Orientación: Ecología de Zonas Áridas)

p r e s e n t a

Elio Guarionex Lagunes Díaz

La Paz, B.C.S. Enero de 2009

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 9 del Mes de Enero del 2009, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

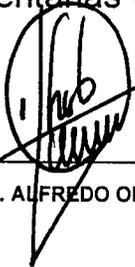
"Panorama eléctrico de Baja California Sur, estado actual, proyecciones y optimización numérica del recurso"

Presentada por el alumno:

Ing. Amb. Elio Guarionex Lagunes Díaz

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Ecología de Zonas Áridas

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.



DR. ALFREDO ORTEGA RUBIO

LA COMISION REVISORA



DR. LUIS F. BELTRÁN MORALES



DR. DANIEL B. LLUCH COTA



DR. THELMA ROSA CASTELLANOS CERVANTES,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Comité Tutorial y Revisor

Asesor:

DR. ALFREDO ORTEGA RUBIO
CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE (CIBNOR)

Cotutores:

DR. DANIEL B. LLUCH COTA
CIBNOR
DR. LUIS F. BELTRÁN MORALES
CIBNOR

Jurado de examen

DR. ALFREDO ORTEGA RUBIO
CIBNOR
DR. DANIEL B. LLUCH COTA
CIBNOR
DR. LUIS F. BELTRÁN MORALES
CIBNOR

Jurado Suplente:

DR. ALFREDO HERNÁNDEZ LLAMAS
CIBNOR

Resumen

Se hizo un estudio de la generación y el consumo de energía eléctrica en el Estado de Baja California Sur; se analizaron las tendencias actuales de consumo en los sectores Residencial, Industrial, Comercial, Agrícola y Servicios; se analizaron los progresos y políticas actuales en eficiencia en el consumo de energía y producción eléctrica a partir de fuentes renovables y se hizo una proyección de la demanda a futuro basada en la proyección de población y la situación actual. Utilizando la información antes mencionada, además de cálculos provenientes de literatura especializada sobre las cantidades posibles de producción a partir de fuentes renovables, los precios de generación a partir de las distintas tecnologías y las emisiones de contaminantes para cada tecnología, entre otras, se hizo un Modelo Estocástico de Enteros Mixtos en Solver Premium (Frontline Systems, Inc.), simulando distintos escenarios de variación de los precios de los combustibles, de políticas ambientales y de demanda, para encontrar la mezcla óptima de recursos y el porcentaje de la producción total y la competitividad en el mercado de las tecnologías renovables.

Abstract

A study about generation and consumption of electricity in the State of Baja California Sur was carried out, analyzing the current trends of consumption in the Residential, Industrial, Commercial, Agricultural and Service sectors, as well as the progress and present policies in efficiency of consumption and production from renewable sources; based on this and a population forecast, a demand prognosis was made. Using the above mentioned, as well as calculations from specialized literature about the potential capacity from renewable sources in the entity, and the emission factors and the generation prices for both renewable and fossil-fuel based technologies a Stochastic Mixed Integer Model was programmed in Solver Premium (Frontline Systems, Inc.), simulating different scenarios involving variation in fuel prices, in environmental policy and in demand, to find

the optimal mix of resources and the share of the total production and the market feasibility of the generation from renewable sources.

Dedicatoria

A Lucía Díaz, mi Madre, por su buen humor.

A mis hermanos, Gina y Luis, por el entendimiento.

A mi Padre, por su entusiasmo.

Agradecimientos

Por su apoyo y consejos en toda ocasión, pero más que nada por su ejemplo de éxito, quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Alfredo Ortega Rubio, tutor de este trabajo de tesis; así mismo agradezco a los Doctores Luis Felipe Beltrán Morales y Daniel Lluch Cota, miembros también de mi Comité Tutorial. También, con mucho crédito en la culminación de este trabajo, de la Universidad de Toronto agradezco al Dr. Bradford Bass, personificación del entusiasmo (Thanks), al cDr. Stephen Toyon, compañero de los guarismos (Hvala), al Dr. Dieter Kogler (Danke), al cDr. Cheng Wang y al Ingeniero Liang Qin (谢谢), por sus comentarios y consejos.

También agradezco a las autoridades de Posgrado del CIBNOR, a nuestra directora la Dra. Thelma Castellanos y a las Sudcalifornianas Lic. Osvelia Ibarra, Lic. Leticia González, Beatriz Gálvez, y Claudia Olachea. Un merecido agradecimiento a Horacio Sandoval y Manuel Melero del Laboratorio de Cómputo de Posgrado, además a Magda Gálvez, al personal de la Biblioteca y al de Soporte Técnico, que también llevan un importante crédito en esta Tesis.

A nuestro Consejo de Ciencia por haberme otorgado la Beca con registro 212141

Y a las personas con las que compartí tantos momentos en esta etapa: R. Martínez, C. Ramírez, O. Ramírez, M. Hernández, N. Cantú, Y. Gadar, J. Armendáriz, F. Thony, M. Rentería y Familia, J. Sánchez y Familia, N. Camacho y Familia, C. Cornejo, F. Poujols, E. Zúñiga, M. Gucic, P. Támez, C. Catzin, M. Terrazas, P. Galicia, J. Axel, J. Pacheco, P. Piña, V. Aguilar, L. Pérez, T. Tarin y A. Fitz.

A mi gente de Xalapa: R. Vidal y familia, L. Ríos y familia, a A. Ángeles y la Salvia Real, C. Contreras, a J. Washington, A. Yebra, A. Ramos, R. Gamboa.

A Baja California Sur, un maravilloso estado.

Índice General

Acta de Revisión de Tesis	ii
Resumen.....	iv
Abstract	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Índice General	ix
Lista de figuras.....	xi
Lista de tablas.....	xii
1. Introducción	1
2 Marco Teórico.....	5
2.1 Panorama eléctrico a Nivel global	5
2.2 Factores que influncian el tipo de la generación y peligros para ésta	7
2.3 Planeación Energética a nivel de la demanda	7
2.3.1 Normatividad:	11
2.3.2 Anteproyecto de Norma NOM-020-SENER.....	13
2.4 Planeación energética: a nivel de la generación.....	14
2.5 Generación y consumo de electricidad a nivel país	14
2.5.1 Capacidad instalada eléctrica en el servicio público por región	17
2.6 Generación y consumo de Energía en Baja California Sur	19
2.6.1 parque de generación.....	19
2.6.3 Emisiones de contaminantes por generación de energía en el estado	23
2.6.4 Programa de Ahorro Sistemático Integral	24
2.6.5 Cambio Climático en las principales ciudades de Baja California Sur	24
3. Hipótesis de trabajo.....	31
4. Objetivo general.....	31

4.1 Objetivos particulares.....	31
5. Materiales y métodos	33
5.1 Sitio de Estudio	33
5.1.1 Actividades económicas.....	34
5.2 Información general	35
Tarifas de la CFE	36
Tarifas domésticas.....	36
5.3 Modelo Estocástico de Programación de Enteros Mixtos.....	42
5.3.1 Parámetros:.....	42
5.3.2 Variables:	43
5.4 Función Objetivo: minimizar los costos y emisiones.....	44
6. Resultados	46
6.1 Precio estocástico.....	49
6.1.1 Sin reducción de emisiones	49
6.2 Demanda estocástica.....	51
6.2.1 Sin reducción de emisiones.....	51
6.2.2 Con reducción de emisiones	52
6.3.1 Sin reducción de emisiones	53
6.3.2 Con reducción de emisiones	54
7. Discusión de Resultados	56
7.1 Estado actual	56
7.2 Proyecciones y limitaciones del modelo	57
7.3 Factibilidad de la Generación Renovable	59
7.4 Conclusiones y Recomendaciones	60
8. Bibliografía	61

Lista de figuras

<i>Fig. 1 Generación Mundial a partir de las fuentes, 2004 (a) y proyección al 2030 (b)</i>	6
<i>Fig. 2 Distribución de las ventas internas por sector de CFE para el año 2006</i>	15
<i>Fig. 3 Costos Unitarios de Generación por Tecnología, CFE 2006</i>	16
<i>Fig. 4 Costo Unitario de Generación a partir de Diesel, CFE 2006</i>	16
<i>Fig. 5 Curvas típicas de carga horaria para el Norte del País, 2006</i>	18
<i>Fig. 6 Consumo eléctrico en relación a la temperatura, IIE 1999</i>	19
<i>Fig. 7 Ubicación en la Entidad de las Principales Centrales Generadoras, CFE 2007</i>	20
<i>Fig. 8. Centrales Generadoras proyectadas para la entidad, CFE 2007</i>	21
<i>Fig. 9. Consumo de Electricidad por Sector en la Entidad, CFE 2007</i>	22
<i>Fig. 10 Cargas de Potencia para la entidad, CFE 2006</i>	23
<i>Fig. 11 Anomalías desestacionalizadas de las principales ciudades de la Entidad</i>	26
<i>Fig. 12 Frecuencias de las anomalías para La Paz, agrupadas en decenios</i>	29
<i>Fig. 13 Proyecciones de temperatura para el Estado, INE 2005</i>	30
<i>Fig. 14 diagrama de la evolución de tres escenarios en tres etapas</i>	41
<i>Fig. 15 Esquema de las corridas efectuadas con el modelo estocástico</i>	1
<i>Fig. 16 Generación a partir de las tecnologías en los 3 escenarios de precio estocástico</i>	49
<i>Fig. 17 Generación a de las distintas tecnologías en los escenarios de precios lineal (a), alto (b) y bajo (c), con restricciones en la emisión</i>	1
<i>Fig. 18 Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda lineal (a), alto (b) y bajo(c), sin restricciones en la emisión</i>	1
<i>Fig. 19 Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda lineal (a), alto (b) y bajo (c), con restricciones en la emisión</i>	1
<i>Fig. 20 Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda y precios lineal (a), alto (b) y bajo (c), sin restricciones en la emisión</i>	1
<i>Fig. 21 Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda y precios lineal (a), alto (b) y bajo (c), con restricciones en la emisión</i>	1

Lista de tablas

<i>Tabla I Pautas bioclimáticas para la construcción de hogares en el clima Cálido Seco.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla II Normas Oficiales Mexicanas de temas de eficiencia energética</i>	<i>12</i>
<i>Tabla III Anteproyectos de Normas Oficiales Mexicanas de temas de Eficiencia Energética</i>	<i>12</i>
<i>Tabla IV Tarifas según la temperatura y límites de Alto Consumo aplicadas en BCS.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla V Clasificación de las tarifas comerciales, de servicio, agrícolas e industriales.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla VI Número de Usuarios Domésticos y de Servicios de la CFE en la Entidad, para Diciembre 2007.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla VII Número de Usuarios Comerciales, Agrícolas e Industriales de la CFE en la Entidad, para Diciembre 2007</i>	<i>38</i>
<i>Tabla VIII Consumo de electricidad para las tarifas de CFE, año 2006</i>	<i>38</i>
<i>Tabla IX Cuadro datos por tipo de tecnología de las plantas generadoras</i>	<i>40</i>
<i>Tabla X datos aportados al programa estocástico</i>	<i>48</i>
<i>Tabla XI Principales Emisores de dióxido de carbono por generación eléctrica en el País</i>	<i>59</i>

1. Introducción

El desarrollo sustentable no sólo se mide por la cantidad de áreas protegidas, encaminar el sistema energético por el rumbo de la sustentabilidad progresivamente se ha vuelto una mayor preocupación y un objetivo de políticas; este logro, sin embargo, es un proceso a largo plazo que requiere una profunda transformación de su estructura actual (Rafaj, 2006; Friedel, 2004); los pronósticos de la demanda futura muestran un fuerte incremento en el uso de energéticos debido a los requerimientos adicionales per cápita y al crecimiento poblacional (Hug, 2004).

La forma en que se suministra la electricidad tiene un fuerte impacto en el ambiente, en la economía y, sobre todo, en la sociedad; la adecuada planeación de provisión de energía debe optimizar el recurso aumentando los beneficios y minimizando los costos, más aún en estos tiempos, en que la humanidad se ha dado cuenta de las afectaciones ambientales que puede tener la generación eléctrica, en que la disponibilidad de combustibles ha creado una volatilidad en los precios reales de la electricidad y en que la crecida población ha aprendido de las comodidades y posibilidades que brinda este tipo de energía.

El adecuado suministro de energía integra acciones a nivel tecnológico, ambiental, político y social (Papadaki, 2003); los errores en la planeación y en la operación provocan desabastos, bloqueos de centrales en protesta (Ramos,2000), inundaciones y daños a la calidad del aire y la salud (Ottinger, 2006); la planeación energética de ahora se enfrenta a un amplio rango de opciones tecnológicas e institucionales para generar electricidad y un futuro que es dinámicamente complejo e incierto; lograr identificar la alternativa de menor costo en este tenor es virtualmente imposible (Awerbuch, 2005) , además, la cantidad de ahorros económicos o energéticos no puede ser medida directamente, sino que debe ser estimada comparando los consumos medidos o calculados contra una referencia teórica (Pavan, 2008).

La optimización del sistema sólo puede lograrse haciendo políticas que consideren las dos partes involucradas: la generación y el consumo; sin duda la tecnología que produce la electricidad y los aparatos que trabajan con esta son partes fundamentales, pero sin considerar el elemento humano ninguna planeación se desarrollará como un sistema sano y estable (Wilhite, 2000), conforme la economía crece y el estándar de vida sube y la conciencia ambiental aumenta, crece también la necesidad de energía y de que esta sea limpia (Huacuz, 2007)

En México la construcción del sistema energético se ha desarrollado con comodidad debido a la abundancia de combustibles fósiles, que representan un 75% de la producción de energía, sin embargo, en la actualidad las reservas de estos han disminuido y se pronostica un próximo agotamiento en un plazo de menos de 28 años en un escenario generoso (Reserva 3p) (PEMEX, 2006), para resolver los problemas futuros se tienen dos soluciones: ahorrar energía y producirla a partir de fuentes renovables. Otro aspecto que resalta la urgencia de un cambio en la planeación energética en México es que ocupa un sitio entre los 20 países que más emiten gases de efecto invernadero, sin embargo, por ser un país en vías de desarrollo no se incluyó en el Anexo I del protocolo de Kyoto (Sheinbaum, 2004)

Tomará muchos años para que el sistema pase de estar sustentado en combustibles fósiles y nucleares a estar nutrido por la generación a partir de fuentes renovables, que son verdaderamente seguras y ambientalmente inocuas; actualmente han ganado mucha competitividad frente a las tecnologías convencionales, sobre todo las tecnologías eólica, geotérmica y de biomasa, sin embargo la solar aún está lejos de ser ampliamente accesible sin subsidios. Una desventaja de la generación renovable es su baja densidad energética, por lo que necesitan espacio disponible y de estar en contacto con los recursos (Papadaki, 2003; Huacuz, 2007)

El promover la eficiencia energética es la manera más rápida, accesible y segura de lograr una estabilidad en el sistema. Esto es necesario para aliviar las amenazas más próximas a las que nos enfrentamos buscando brindar tiempo para adaptarse y desarrollar

las tecnologías alternativas (Ottinger, 2006). Los elementos para lograr esto van desde el desarrollo de tecnologías y la elaboración de normas hasta el retiro gradual de subsidios (De Buen, 2007). En México las investigaciones en eficiencia energética señalan que una casa bien diseñada puede tener un consumo 40% menor de electricidad en comparación con una casa construida con los materiales más comunes en la actualidad (Zeller, 2004).

En Baja California Sur la situación no es muy prometedora; en la entidad no existen cauces perennes que se puedan aprovechar para la generación hidroeléctrica, la interconexión al Sistema Interconectado Nacional aún no es redituable debido a la distancia, tomando en cuenta que ni siquiera Baja California está conectada al resto del país (aunque sí comparte conexiones con sistemas eléctricos de California); sin embargo existe un potencial eólico considerable, capaz de satisfacer una cuarta parte de la demanda actual a precios competitivos (González, 2006), y existe un fuerte potencial para la energía solar, que aunque su instalación cuesta hasta el triple de lo que las convencionales, ahora con el esquema de interconexión a la red su operación será más barata y además puede ser usada como herramienta para disminuir la demanda. La energía geotérmica, presente en el estado, no puede generar más electricidad de la que está actualmente instalada, según los estudios (Hiriart, 2003; Portugal, 2000). Por lo tanto siempre será una fracción pequeña la aportación de las fuentes renovables al consumo total de energía en la Entidad, más aún si la demanda crece al ritmo actual.

En el presente trabajo se brinda como primer parte un panorama de la generación-consumo de electricidad en la Entidad, relacionándola con los patrones mundiales y nacionales, se hace un estudio de las medidas adoptadas por el gobierno para favorecer un parque generador más eficiente, además se incluye un estudio de la evolución del clima en las principales ciudades del Estado para evaluar posibles aumentos en el consumo debido a la temperatura, también se reportan los avances en eficiencia en el consumo (administración a nivel de la demanda) del fideicomiso FIPATERM que financia aislamiento de casas y sustitución de equipos ineficientes de refrigeración y acondicionamiento de aire; finalmente se incluye un modelo de optimización, haciendo un pronóstico de esta en base a la situación actual y a su trayectoria pasada, utilizando

Programación Estocástica con el programa SOLVER PREMIUM para evaluar la mezcla óptima de suministro de energía que tenga los menores costos económicos y ecológicos para distintas evoluciones de la demanda y de los precios de la generación a partir de combustibles fósiles, la factibilidad de incursión en el mercado de las tecnologías solar térmica, solar fotovoltaica y eólica en dichos escenarios de evolución de la demanda de energía y los precios de combustibles, evaluando hipotéticamente en todo caso la fracción del total de la demanda que puede satisfacerse empleando las tecnologías renovables.

2 Marco Teórico

2.1 Panorama eléctrico a Nivel global

Durante el periodo 1995-2005 el consumo mundial de energía eléctrica mostró un crecimiento medio anual de 3.3 % para ubicarse en 15,620 TWh. Este ritmo de crecimiento ha sido primordialmente impulsado por los países en transición dado que son mercados energéticos en expansión y en proceso de maduración, cuyos procesos de producción y consumo en general son menos eficientes con relación a los países industrializados. A pesar de que México tiene una capacidad de generación mucho menor que aquella de países como Estados Unidos de América, Alemania, Canada y Japón, tiene una capacidad bastante considerable: ocupa el décimo sitio en este rubro de entre los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (SENER, 2007), y a nivel mundial ocupa el 16to lugar (Medina-Ross et al, 2005).

Las regiones que han alcanzado los mayores niveles de estabilidad y madurez de mercado, como son los casos de Norteamérica y Europa Occidental, se han caracterizado por registrar incrementos moderados en el consumo de energía eléctrica durante los años recientes, con tasas de 2.0 % y 2.2 % respectivamente. Particularmente en Norteamérica, los incrementos en el consumo de EUA y Canadá se ubicaron en 2.0% y 1.4% durante el periodo 1995-2005. A diferencia de este comportamiento, en México el consumo de energía eléctrica ha crecido a un ritmo de 4.7% en promedio anual durante dicho periodo. En México la infraestructura eléctrica necesita continuar un proceso de desarrollo (SENER, 2007).

Del 2004 al 2030 habrá un incremento cercano al 2.4 % anual, para pasar de 16.424 en 2004 a 30.364 billones de kilowatts-hora. Una buena parte del crecimiento en la demanda de electricidad está proyectada para suceder en las naciones no pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). A pesar de que

estas naciones consumieron 26% menos electricidad que los países miembros del OCDE, se espera que al final del periodo las primeras consumirán 30% más energía eléctrica (IEA, 2007)

Durante el periodo 2004-2015, se espera que el consumo mundial de energía eléctrica por habitante se incremente en 2.0% anual, al pasar de 2,416 KWh/habitante a 3,007 KWh/habitante. En el caso de Norteamérica, donde el consumo per cápita es mayor, este alcanzará los 11,496 KWh/habitante (SENER, 2007).

El carbón es el combustible más ampliamente utilizado para la generación de energía, este representó en el 2004 el 41% de la generación total y se espera que para el 2030 genere el 45% de la demanda mundial, creciendo a una tasa de 2.8% anual; el gas natural es la tecnología de mayor crecimiento para la generación, a un ritmo de 3.3% anual, esta representa cerca de la mitad del valor total para el carbón, incluso en la proyecciones al 2030. Debido a los precios elevados del petróleo, para la generación a partir de este y sus derivados se espera una tasa de crecimiento de 0.9% anual en el periodo; para la energía nucleoelectrónica se espera una tasa de 1.3 % anual; y, finalmente, la generación hidroeléctrica y de otras fuentes renovables aumentará a un ritmo de 1.3% anual. La fracción correspondiente al total de cada energía se ilustra en la figura (1) (IEA, 2007; SENER, 2007)

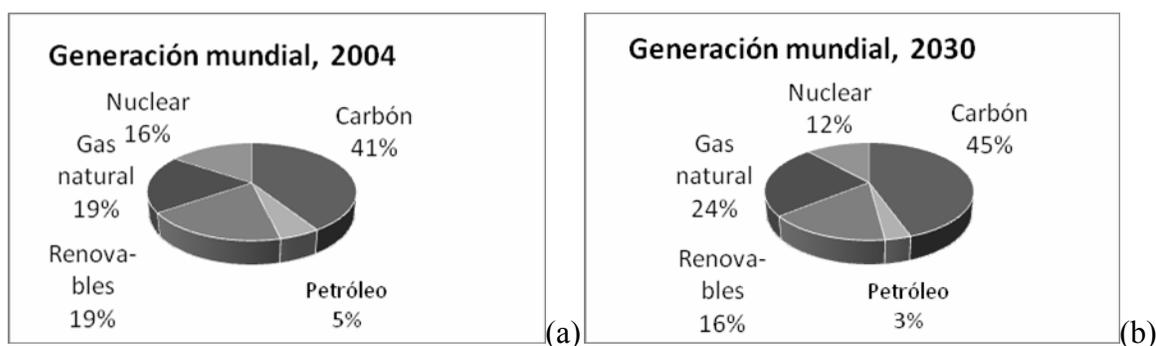


Fig. 1 Generación Mundial a partir de las fuentes, 2004 (a) y proyección al 2030 (b)

2.2 Factores que influyen en el tipo de la generación y peligros para ésta

Son varios los factores de los que depende la tecnología que se use para generar energía; en primer lugar tenemos al factor geopolítico, que se refiere a los recursos que posee un país y cómo los administra para generar energía, la diversificación de la generación es una opción para abatir los riesgos resultantes de las futuras tensiones por las reservas de petróleo; también influye mucho el desarrollo de la tecnología: este factor es el que ha impedido la penetración de la energía basada en el hidrógeno. Los factores económicos, como los precios del petróleo también tienen un efecto en el parque generador y finalmente, las restricciones en emisiones de dióxido de carbono restringen el uso de combustibles fósiles y fomentan el uso de energías alternas, sobre todo en los países de Europa. (Slingerland y van Geuns, 2005).

La producción, demanda y suministro de la electricidad son sensibles a la variabilidad climática, así como al aumento en el nivel del mar. Un aumento en el nivel del mar y los posibles incrementos en eventos meteorológicos extremos (como vientos fuertes y surgencia de tormentas) puede tener efectos adversos en la industria de extracción marina de petróleo, así como causar daños en las líneas de transmisión de electricidad; así mismo, la energía hidroeléctrica se ve afectada negativamente por las sequías (Mirza, 2004).

2.3 Planeación Energética a nivel de la demanda

En estos tiempos, de crisis energética, cambio climático y contaminación atmosférica, los expertos concuerdan que para lograr satisfacer nuestras necesidades energéticas sólo existen dos opciones (y la combinación de ambas): reducir la demanda o aumentar el suministro; la primera opción es conocida como administración a nivel de la

demanda o *demand side management*, ocupa herramientas para lograr hogares y dispositivos electrónicos más eficiente; la segunda requiere que se diversifique el parque generador, para que la energía sea segura y limpia (Gupta, 2006).

La administración por a nivel de la demanda, tiene un núcleo en la adecuación de los espacios para lograr un confort térmico disminuyendo la utilización de medios mecánicos como el aire acondicionado; para darse cuenta basta ver la relación directamente proporcional que tiene el consumo con un polinomial o una función exponencial de la temperatura, fenómeno explicado más adelante en el texto. Para lograr que los usuarios del servicio eléctrico empleen la energía de manera eficiente existen instrumentos normativos y financieros que buscan que los usuarios actuales adecúen sus viviendas y que los futuros las construyan de acuerdo a los patrones bioclimáticos. También la planeación a nivel de la demanda hace uso de los avances tecnológicos que logran aparatos domésticos más eficientes, como los refrigeradores, acondicionadores de aire y lámparas.

Los métodos para determinar las condiciones de comodidad térmica se desarrollaron desde finales del siglo pasado, y a partir de estos se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros, dentro de los cuales el ser humano siente comodidad. La comodidad en la temperatura del aire en contacto con el cuerpo humano está definida en los trópicos entre 23.3 y 29.4 °C con humedades relativas entre 30 y 70 % (Mesa y Morillón, 1997). Estas especificaciones de temperatura y humedad que determinan la zona de comodidad, pueden verse modificadas por:

- La presencia de viento, el cual incrementa el mecanismo de transferencia de calor por convección (movimiento del aire).
- La incidencia de radiación (calor emitido por el sol o las superficies caliente), lo que dificulta la salida de calor del cuerpo humano.
- La ocurrencia de enfriamiento por evaporación en el aire que entra en contacto con el cuerpo humano, lo que aumenta la salida de calor del mismo.
- La pérdida de radiación infrarroja del cuerpo humano debido a superficies frías que lo circundan.

- La modificación de la temperatura del aire que entra en contacto con el cuerpo humano debido a la transferencia de calor por convección con materiales que conforman el medio ambiente y que son capaces de almacenar calor de manera sensible (estos materiales pueden ser los materiales de construcción del edificio).

Los conceptos listados anteriormente, resultan ser de suma importancia para fijar las estrategias de diseño térmico de una vivienda. Las medidas *pasivas* para lograr el confort térmico van desde el diseño urbano de los fraccionamientos hasta el color y tipo de ventanas de las casas. A continuación se describen las recomendaciones bioclimáticas para la construcción de hogares en el Bioclima que predomina en la Entidad: el Cálido Seco (CONAFOVI, 2006);

Tabla I Pautas bioclimáticas para la construcción de hogares en el clima Cálido Seco

<i>Diseño Urbano</i>	
Agrupamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Espaciamiento entre edificios en sentido sureste-noroeste. 1.7 veces la altura de la vivienda • Otra orientación lo más próximo posible para aprovechar las sombras proyectadas.
Espacios Exteriores	<ul style="list-style-type: none"> • Plazas y plazoletas, densamente arboladas con vegetación caducifolia • Vegetación perenne como control de vientos fríos • Andadores con mínimas dimensiones, mínimo pavimento • sombreados en verano, soleados en invierno • Acabados de piso permeables
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • Árboles de hoja perenne en estacionamientos • Distancia entre árboles que den sombra continua • Arbustos como barreras de viento frío en plazas y andadores • Cubresuelos con mínimo requerimiento de agua

<i>Diseño arquitectónico</i>	
Ubicación en el lote	<ul style="list-style-type: none"> • Muro a muro
Configuración	<ul style="list-style-type: none"> • Compacta con patio
Orientación fachada más larga	<ul style="list-style-type: none"> • Norte
Altura del techo	<ul style="list-style-type: none"> • Óptima: 2.7 m, aceptable 2.5
Tipo de techo	<ul style="list-style-type: none"> • Plano con pendiente
Localización de los espacios	<ul style="list-style-type: none"> • Sala, comedor y recámaras al norte • Cocina y baño al sur
Tragaluces	<ul style="list-style-type: none"> • Orientados al sur con protección solar
Aleros	<ul style="list-style-type: none"> • En todas las fachadas • Fachada sur para evitar asoleamiento por las tardes
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • De hoja caduca en todas las orientaciones • Pérgolas con vegetación al sur
Ventanas	<ul style="list-style-type: none"> • Las mínimas necesarias en todas direcciones • Al sur-sureste para ganancia solar directa en invierno, con persiana
Materiales y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Techos: Rellenos masivos con Poliuretano para aislar
	<ul style="list-style-type: none"> • Muros exteriores: Porosos con cámaras de aire, colore claros y sin textura (lisos)

El uso intensivo de energía durante las décadas de 1970 y 1980, principalmente debido al consumo de derivados del petróleo, provocó la creación, en 1989, de la Comisión

Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), y del Fideicomiso del Sector Eléctrico para el Ahorro de Energía. Este par de instituciones ha implementado varias medidas para alentar el ahorro de energía en la nación, entre las cuales se destacan la creación de normas de eficiencia energética y la aplicación del horario de verano, así como algunos proyectos piloto de aislamiento de residencias y reemplazo de sistemas de acondicionamiento de aire (Medina-Ross, 2005).

2.3.1 Normatividad:

La Secretaría de Energía, a través de la CONAE expide las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) de eficiencia energética, elaboradas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), en colaboración y con el consenso de los sectores público, privado, social, y de investigación y desarrollo tecnológico (SENER, 2007).

La aplicación de las NOM's de eficiencia energética es obligatoria y regula los consumos de energía de aparatos y sistemas que ofrecen un mayor potencial de ahorro, cuya relación costo-beneficio resulta favorable para el país. En la actualidad, existen 18 normas de eficiencia energética vigentes, de las cuales 16 están relacionadas con el consumo de energía eléctrica y se aplican a más de 6.5 millones de equipos y sistemas en operación. Para 2007, los ahorros estimados por su aplicación son del orden de 17,962 GWh en consumo de energía y 3,299 MW acumulados de potencia evitada.

Como se observa en el próximo cuadro (Tabla II), no existe aún regulación alguna para hacer construcciones habitacionales; tomando en cuenta que el consumo residencial es el segundo en importancia en la entidad, muy cercano del consumo de la mediana industria que ocupa el primer lugar, el ahorro de energía derivado de esto podría ser muy benéfico; es urgente contar con dicha regulación y situaciones que favorezcan la construcción de casas diseñadas con mayor eficiencia en el uso de electricidad, una gran ventaja que

ofrecen dichas estrategias de ahorro es que disminuyen la carga eléctrica de punta, cuya satisfacción requiere de la construcción de centrales exclusivamente para esta.

Tabla II Normas Oficiales Mexicanas de temas de eficiencia energética

Norma Oficial Mexicana	Equipo o sistema	Entrada en vigor
NOM-008-ENER-2001	Limita la ganancia de calor de las edificaciones no residenciales a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento	VI/2001
NOM-011-ENER-2006	Establece los límites máximos de eficiencia estacional que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo central	VIII/2007
NOM-018-ENER-1997	Establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los materiales, productos y elementos termoaislantes para techos, plafones y muros	X/1998
NOM-021 ENER/SCFI/ECOL- 2000	Para acondicionadores de aire tipo cuarto, establece las especificaciones y los métodos de prueba de la eficiencia energética así como la eliminación de CFC's	VI/2001

Así mismo están en proceso de elaboración (proyectos de norma) las siguientes

Tabla III Anteproyectos de Normas Oficiales Mexicanas de temas de Eficiencia Energética

Proyecto de Norma	Equipo/sistema	Característica
NOM-ENER	Sombreado de vidrios para ventanas	Tema nuevo, 2007
NOM-ENER	Acondicionadores de aire tipo dividido, descargalibre	Tema nuevo

NOM-020-ENER	Edificios de uso habitacional hasta tres niveles	Tema reprogramado
--------------	--	-------------------

2.3.2 Anteproyecto de Norma NOM-020-SENER

El objetivo de esta norma es optimizar el diseño de las viviendas desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente (Ramos Niembro, 1999), es decir, la fase entre el interior y el exterior de la casa, obteniéndose como beneficios, entre otros, un mayor confort y el ahorro de energía por la disminución de la capacidad necesaria de los equipos de enfriamiento. La norma, obviamente, sólo afectará –tal como está redactada actualmente, las construcciones nuevas y las ampliaciones. Obsérvese que ha transcurrido una década desde que se empezó con el anteproyecto de norma. El procedimiento que dicta dicho anteproyecto para determinar la eficiencia energética de un edificio consiste en comparar el edificio que se va a construir o ampliar (edificio proyectado), con un edificio teórico que carece de elementos que lo hagan eficiente (edificio de referencia).

Dichos elementos son la ventilación natural, el control solar, el enfriamiento pasivo y el uso de material aislante (CONAFOVI, 2005). La norma no va más allá del etiquetado de la construcción; no propone ningún estándar de eficiencia, dado que se puede etiquetar una construcción con valor de 0% de eficiencia; sólo en el caso que los requerimientos calculados para la futura construcción sean mayores a los del edificio teórico se dice que no cumple con la norma. Además no tiene efecto en casas individuales (SENER, 2004).

2.3.3 Interconexión al sistema eléctrico

En México se dio un paso importante para la diversificación de las fuentes de energía, que es estrategia del Plan de Desarrollo 2007-2012, y lo fue del Plan de Desarrollo 2001-2006, al aprobarse en junio del 2007 el modelo de interconexión para Fuentes de Energía Solar en Pequeña Escala; dicho esquema permite intercambiar la energía sobrante generada por las fuentes de energía solar por energía de la red eléctrica cuando así se

requiera, como en las horas nocturnas; por así decirlo, se permite guardar energía en el sistema, en vez de en numerosas baterías. (DOF, 2007)(Medina Ross, 2005)

2.4 Planeación energética: a nivel de la generación

La planeación de la generación o *Supply Side Management* representa un problema de decisión de inversión; el objetivo de esta labor es encontrar el costo mínimo; esta estrategia no era difícil en las décadas anteriores, marcadas por una certeza relativa en el costo, bajas tasas de progreso tecnológico, alternativas tecnológicamente homogéneas y precios estables; hoy día, dicha planeación se enfrenta a una gama de opciones tecnológicas e institucionales para generar electricidad y un futuro que es dinámico, complejo e incierto; intentar identificar la opción de menor costo es virtualmente imposible en este ambiente.

Los procesos de planeación actualmente deben abandonar su preocupación de encontrar la alternativa de menor costo y enfocarse mejor en desarrollar portafolios de generación eficientes; estos deben tener dos propiedades: minimizan el costo esperado para cualquier nivel de riesgo y minimizan el riesgo para cada nivel de costo, entendiendo que el riesgo depende de los precios cambiantes y de abasto de insumos (Awerbuch, 2005).

Para hacer una estrategia de planeación del parque generador se emplean modelos matemáticos que evalúen los posibles costos derivados del riesgo en ciertos tipos de tecnologías sensibles, sobre todo las que emplean combustibles fósiles, que comparen los plazos de recuperación entre las distintas tecnologías y hoy por hoy, con el cambio climático, que evalúen qué ahorros en emisiones de CO₂ se pueden lograr.

2.5 Generación y consumo de electricidad a nivel país

En términos generales, el comportamiento de las ventas totales de energía eléctrica se encuentra altamente correlacionado, en forma positiva, con el ritmo de actividad

económica, lo cual implica que ante incrementos en el PIB, el consumo de energía eléctrica aumenta también aunque en mayor magnitud.

El consumo interno de energía eléctrica se clasifica en cinco sectores: industrial, residencial, comercial, servicios y bombeo agrícola. En orden de magnitud, el sector industrial es el principal consumidor de energía eléctrica dada la infinidad de sistemas y procesos de producción que hacen uso intensivo de este tipo de energía. En 2006, este sector demandó el 58.8% del total, lo cual revela su importancia en las ventas internas (SENER, 2007).

Por otra parte, el sector residencial representa el 25.3% de las ventas internas, con lo cual es el segundo gran consumidor de energía eléctrica, seguido por el sector comercial con 7.5%, luego el bombeo agrícola con 4.5% y finalmente el sector servicios con 3.8%. Estos valores se pueden apreciar en la figura (2) (CFE, 2005)

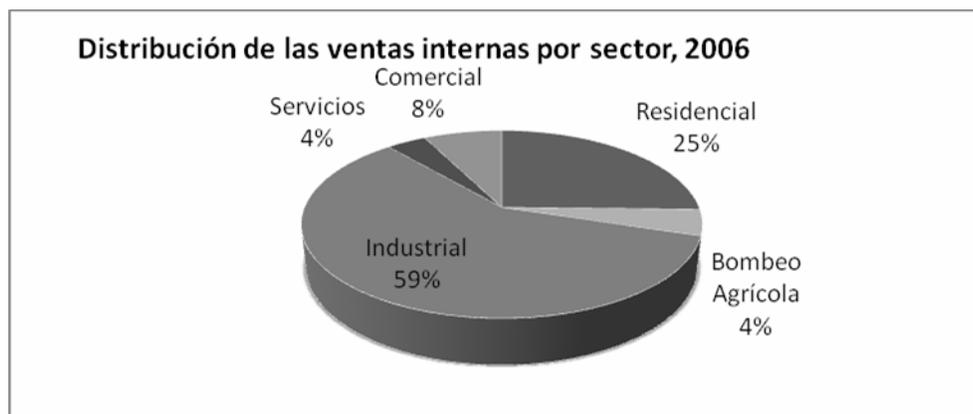


Fig. 2 Distribución de las ventas internas por sector de CFE para el año 2006

Los distintos tipos de tecnologías tienen distintos costos de instalación y de operación, en los años recientes los avances que se han logrado en el estudio y manejo de la energía eólica, así como el aumento en su demanda debido a las ventajas ambientales que conlleva, han hecho que su precio haya pasado de ser el más alto en el 2000 al más bajo en el 2006 (CFE, 2007). Las tecnologías basadas en combustibles fósiles han mantenido un aumento constante en el periodo; cabe señalar que los precios del petróleo crudo han

registrado varios máximos históricos en el 2007 y el 2008, años que no están contemplados en la gráfica. (SENER, PEMEX, 2008)

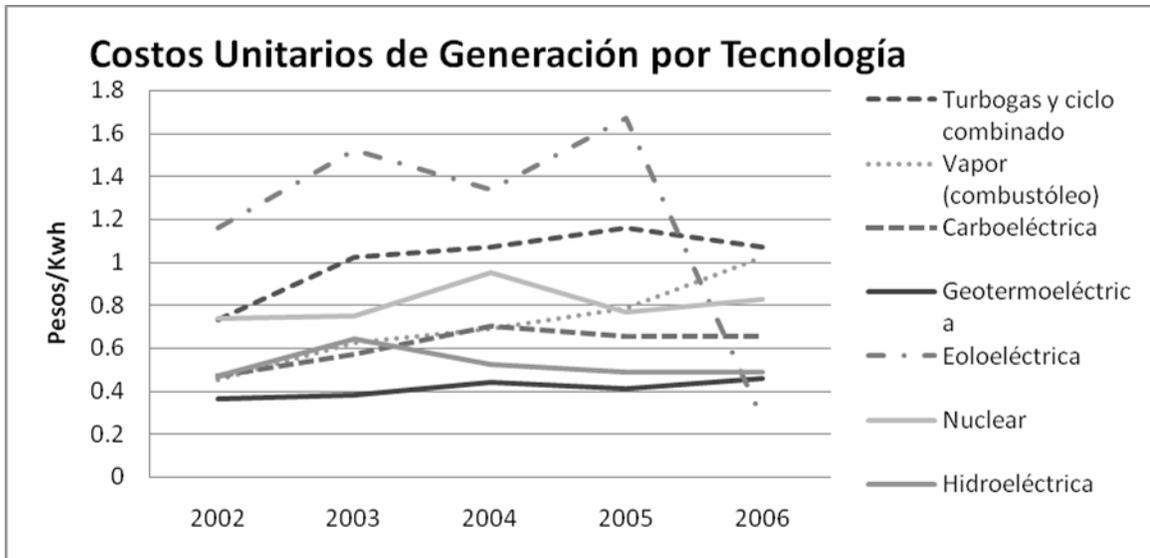


Fig. 3 Costos Unitarios de Generación por Tecnología, CFE 2006

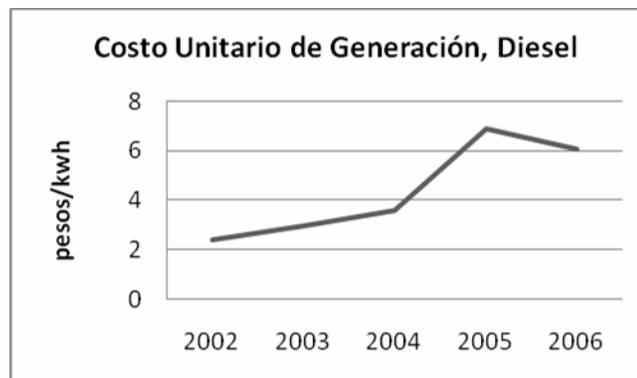


Fig. 4 Costo Unitario de Generación a partir de Diesel, CFE 2006

En el país se presentan esquemas de consumo y generación muy distintos para cada región: en el sureste, donde el agua es abundante, la electricidad se genera casi en su totalidad en plantas hidroeléctricas; en varios estados como Veracruz se genera electricidad para el consumo de la densamente poblada región central, por eso dicho estado genera el 20% de la electricidad nacional; en el noroeste, donde abundan territorios desérticos, se

depende en mayor proporción de los combustibles fósiles para satisfacer las necesidades energéticas (SENER 2006 y 2007).

2.5.1 Capacidad instalada eléctrica en el servicio público por región

En el ámbito regional, la capacidad instalada en el servicio público se encuentra dispersa por todo el territorio nacional en función de la disponibilidad de recursos, infraestructura y ubicación respecto a los puntos. En nuestra región, Noroeste (comprende Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora) se registró un incremento en la capacidad instalada de 40.6 MW durante 2006, para llegar a una capacidad total de 6,714 MW. La mayor adición para este año corresponde a la unidad 3 de la central turbogás Los Cabos con 27.2 MW, mientras que el mayor retiro fue el de la unidad 3 de la central termoeléctrica Topolobampo II, con 40 MW en Sinaloa. Es importante señalar que el incremento de capacidad en esta región de un año a otro incluye los movimientos, traslados y permanencia temporal de unidades turbogás móviles, por lo cual durante los años siguientes se pueden presentar ese tipo de variaciones también, dependiendo de la demanda regional, infraestructura de transmisión, entre otros factores (SENER, 2007).

A nivel nacional, como resultado de los programas de eficiencia energética, el consumo residencial se redujo considerablemente en comparación con los demás usuarios; sin embargo, en los estados fronterizos del norte, la tasa de crecimiento no se redujo en el mismo periodo (1995-2001); de Buen (2001) atribuye este comportamiento al uso extensivo de equipos acondicionadores de aire provenientes de los EUA.

El Consumo en la región se caracteriza por un aumento en la demanda para los días de verano, relacionado con el empleo intensivo del aire acondicionado debido a las temperaturas que a menudo alcanzan los 40° C. En la gráfica (Fig. 5) se hace una comparación del comportamiento de la demanda de energía a lo largo de un día típico de invierno y un día típico de verano, así como la diferencia entre los días laborales y los de

descanso. Los días de verano el consumo crece cerca de un 25% la demanda máxima, en comparación con los de invierno (SENER, 2007).

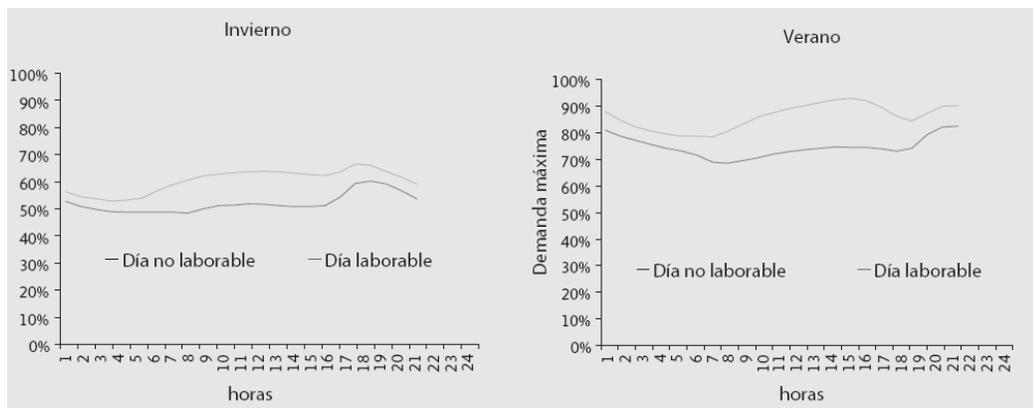


Fig. 5 Curvas típicas de carga horaria para el Norte del País, 2006

Una evaluación de la correlación temperatura-consumo eléctrico realizada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (Ramos Niembro *et al*, 1999) determinó la cantidad de energía utilizada por el equipo de aire acondicionado y el porcentaje que esta representa del consumo total de las residencias, para cada una de las tarifas específicas 1A a 1F. La siguiente figura (6) grafica los resultados de la investigación de Ramos *et al*; se ajustó un modelo con STATISTICA V 6.0, utilizando una ecuación exponencial; todos los parámetros tuvieron significancias mayores al 95%. Fung y Colaboradores (2006) calcularon la relación temperatura-consumo para Hong Kong, determinaron el mejor ajuste para sus datos con una ecuación polinomial de segundo orden; además hicieron trabajos para el sector comercial e industrial, para los cuales ajustaron mejor con ecuaciones lineales; así mismo, Franco y Sanstad (2008) encontraron un mejor ajuste para sus datos de California utilizando una ecuación polinomial de tercer orden.

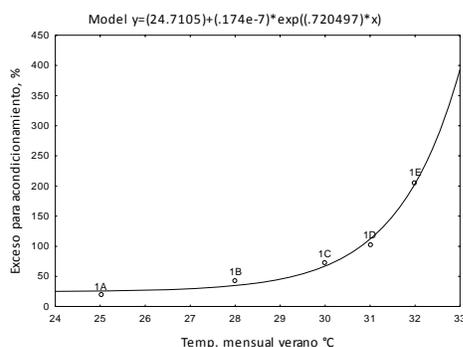


Fig. 6 Consumo eléctrico en relación a la temperatura, IIE 1999

2.6 Generación y consumo de Energía en Baja California Sur

2.6.1 parque de generación

En la Zona de estudio se identifican las siguientes centrales generadoras de electricidad, como se puede observar, la gran mayoría de la capacidad instalada (409 MW) está provista por centrales basadas en combustibles fósiles. (Miller y Van Atten, 2004, Druk-González, 2000 y www.cfe.gob.mx):

1. Termoeléctrica “Punta Prieta II” con una capacidad efectiva instalada de 113 MW
2. Combustión interna San Carlos (A. Olachea), con 104 MW de capacidad efectiva
3. Combustión Interna “Baja California Sur I” (Coromuel) con una capacidad efectiva de 43MW
4. Combustión Interna “Baja California Sur II” (Coromuel) con una capacidad efectiva de 42.8 MW
5. Eólica Guerrero Negro, con capacidad de 0.6 MW (sistema aislado)
6. Geotérmica Tres Vírgenes, en Comondú, con capacidad efectiva de 10 MW (sistema aislado)
7. Planta híbrida Diesel-Viento- San Juanico, 138 kW (sistema aislado).
8. Combustión Interna “Guerrero Negro” , capacidad: 10 MW
9. Combustión Interna “Santa Rosalía”, capacidad: 10 MW
10. Central Turbogás (a diesel) “Los Cabos”, con capacidad de 43 MW
11. Central Turbogás (a diesel) “Constitución”, con capacidad de 43 MW

En la figura (7) se muestra un esquema de ubicación de las principales centrales generadoras ubicadas en la entidad, para el año 2007 (SENER, 2007; González et al, 2006).

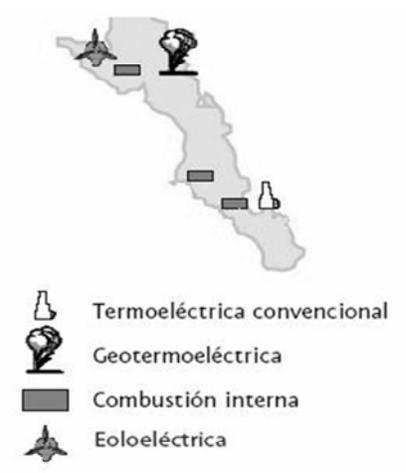


Fig. 7 Ubicación en la Entidad de las Principales Centrales Generadoras, CFE 2007

Se tienen proyectadas además las plantas BCS III y BCS IV, que utilizarán generadores de combustión interna (diesel), a construir en 2010 y 2011, ambas con capacidades de 43 MW; para el 2014 se espera tener en fase de operación las plantas BCS V y BCS VI, de tecnología por definir, que igual aportarán a la red 43 MW cada una; para después del 2016, según las proyecciones habrán entrado en funcionamiento las plantas BCS VII, BCS VIII y BCS IX, de tecnología por definir, de idénticas capacidades a las anteriores. (SENER, 2006))

En total, para el año 2016, el complejo de plantas generadoras BCS I-IX (Coromuel) tendría una capacidad de 387 MW, que sumados a la planta de Punta Prieta y a la de Turbogás La Paz surtirán con una capacidad de 543 MW a la región. La figura (8) muestra la ubicación y tipo de tecnología que tendrán las centrales que se construirán en Baja California Sur en los próximos 8 años, según las estimaciones de la Comisión Federal de Electricidad (2007). Como se puede apreciar todas las plantas requerirán de combustibles

fósiles para su operación; en el caso de la unidad Baja California Sur se construirán 7 generadores más dentro del periodo.

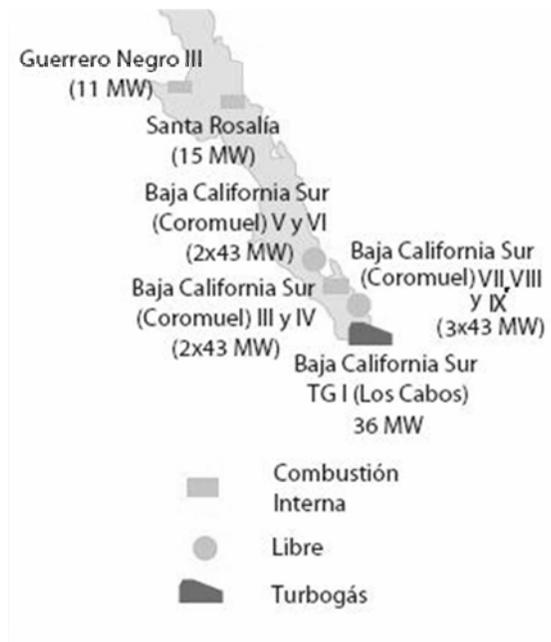


Fig. 8. Centrales Generadoras proyectadas para la entidad, CFE 2007

2.6.2 Consumo de energía en el Estado

Durante los últimos 18 años se presentó en la entidad un cambio en el esquema de consumo energético por sector, debido principalmente a dos factores: una caída en las actividades agrícolas a partir del año 1990 y una aceleración de la mediana industria a partir del 2003, para ubicarse esta como el principal sector en demanda de energía, requiriendo un 39% de la energía consumida en el estado durante el 2006; la gran industria, que utiliza sistemas de alta tensión cesó operaciones en el 2002 y ha resurgido para presentar un 2% del consumo de la entidad. El sector doméstico ha mantenido un crecimiento estable aunque un poco acentuado en los últimos años, responsable de 35% de las ventas del 2006,

segundo lugar actual en consumo de energía; en cambio, el sector de servicios (alumbrado y bombeo de agua potable) ha permanecido casi constante en la región con un 9%. Por último, el sector comercial empleó un 11% de la energía durante el mismo año. Esto lo podemos contemplar en la gráfica (2.9), elaborada con información de la CFE.

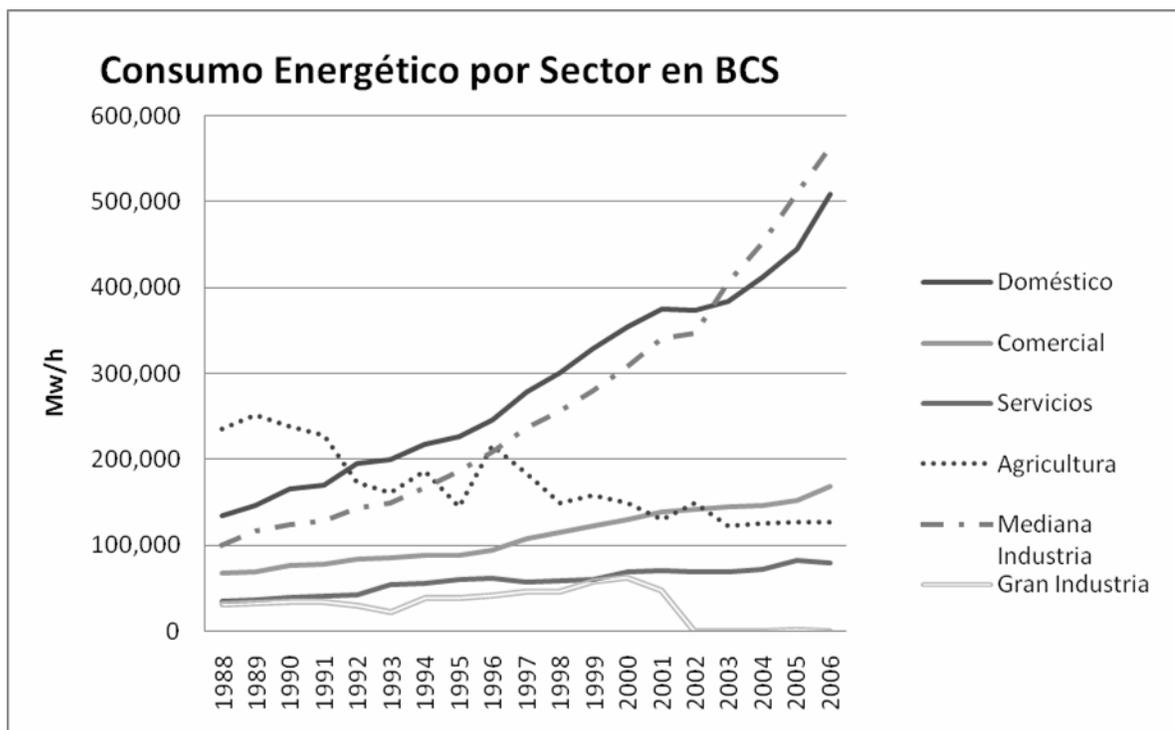


Fig. 9. Consumo de Electricidad por Sector en la Entidad, CFE 2007

Los requerimientos de capacidad de los sistemas aislados o débilmente interconectados se determinan de manera individual, en función de sus curvas de carga y demandas máximas, (SENER, 2006). Las instalaciones deben de tener suficiente capacidad instalada para satisfacer las demandas; sin embargo, el valor de las demandas presenta una fluctuación amplia. La demanda es mucho mayor en verano que en el invierno, por lo tanto, las instalaciones que tienen la capacidad suficiente para la demanda de verano, operarán con mucho menor eficiencia en la temporada invernal (Ibañez y Calleja, 2000). La carga de mayor importancia es la conocida como carga punta, que es la mayor carga que se presente al año medida por un lapso de 15 minutos, a diferencia de la carga base, que es la mínima;

la carga media es el promedio de cargas a lo largo de todo el año. En la siguiente figura (10) se muestra la trayectoria de las cargas a partir de 1996.

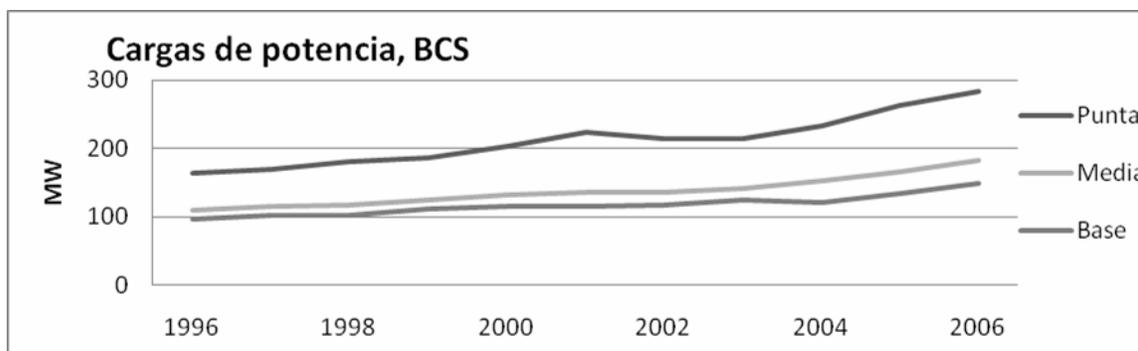


Fig. 10 Cargas de Potencia para la entidad, CFE 2006

2.6.3 Emisiones de contaminantes por generación de energía en el estado

Para el año 2001 Vijay y Molina, (2004) efectuaron un cálculo en la emisión de contaminantes derivados de la producción de energía eléctrica en Baja California Sur; los resultados fueron la emisión de 1074.92 Kt de CO₂, 0.01 toneladas de mercurio, 5.34 kt de NO_x y 18.43 de SO₂. A nivel país no tiene una aportación significativa; sin embargo, ocupa el cuarto lugar en emisiones por hogar, precedido por estados con fuertes actividades industriales y agrícolas como Coahuila, Hidalgo y Guerrero, que además exportan buena parte de su producción a otros estados, principalmente a los localizados en el altiplano central. Este alto lugar puede deberse a que la totalidad de la energía suministrada a Baja California Sur es generada a partir de combustibles fósiles; mientras que en casi todos los demás estados existe algún tipo de energía alterna, como la geotermoeléctrica en Baja California, la nuclear en Veracruz y la hidroeléctrica de uso extensivo en el sur, e incluso en estados del noroeste como Sinaloa y Nayarit. Cabe señalar que México es el país de América Latina que más gases de efecto invernadero emite y de los primeros 20 a nivel mundial (de Buen-Rodríguez, 2007y Sheinbaum, 2000).

2.6.4 Programa de Ahorro Sistemático Integral

En octubre de 1990 se creó, en Mexicali, Baja California –la ciudad con las temperaturas más elevadas en el país, el Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPATERM), en 1996, derivado de los buenos resultados de la aplicación de dicho fideicomiso, la CFE solicitó a investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California estudiaran qué otras acciones de Ahorro de Energía se podrían implementar en el fideicomiso, así fue que se incluyeron programas de sustitución de equipos de aire acondicionado y focos incandescentes por equipos más eficientes; después en el 2004 se incluyó un programa de sustitución de refrigeradores. En ese mismo año, Baja California Sur fue incluida dentro del programa; a partir de entonces, se han entregado en la Entidad créditos para aislar 212 casas, así como para sustituir 1,861 equipos de aire acondicionado, 8,695 refrigeradores y 41, 183 focos incandescentes (ASI La Paz, 2008).

2.6.5 Cambio Climático en las principales ciudades de Baja California Sur

Una situación que hace aún más necesaria la arquitectura bioclimática en la región es el hecho incuestionable que en las ciudades del Estado se ha presentado un aumento de la temperatura en verano –temporada donde se presentan los valores máximos de consumo de electricidad. Este calentamiento es resultado del efecto de la Isla Urbana de Calor (Gil Mestre, 1997) y del patrón generalizado de Calentamiento Global (Weiss y Overpeck, 2005), ambos fenómenos ampliamente estudiados (Oke, 1978; IPCC, 2007). En las siguientes figuras (11a-11e) se muestran las anomalías estandarizadas de temperaturas de las principales ciudades de la entidad, desde 1957 hasta el 2003 para Loreto y Constitución, desde 1946 hasta 2003 para Mulegé y San José del Cabo y desde 1921 hasta 2007 para La Paz. Los datos fueron obtenidos del sistema Extracción Rápida de Información

Climatológica, ERIC, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2003) y de los registros de la estación meteorológica de La Paz de la Comisión Nacional del Agua.

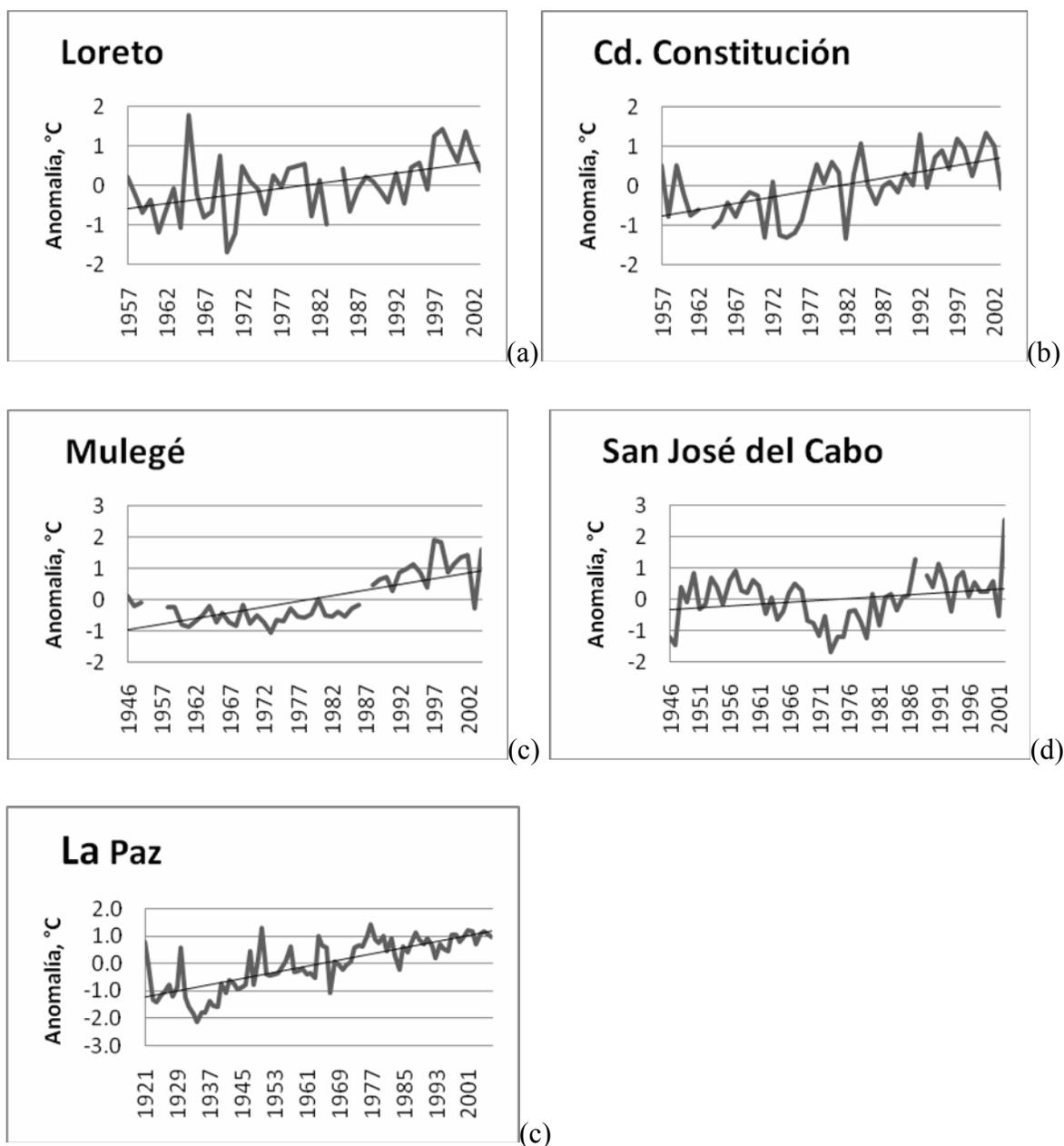


Fig. 11 Anomalías desestacionalizadas de las principales ciudades de la Entidad

Para calcular estadísticamente la existencia de tendencias en las temperaturas de las 5 principales ciudades de Baja California Sur se aplicó la prueba de Mann Kendall, sugerida por Kadioglu (2000 y 2001), a las anomalías desestacionalizadas estandarizadas mediante el método utilizado por Weiss y Overpeck (2005), utilizando el software

MAKESENS 1.0 (Finnish Meteorological Inst.). Las anomalías estandarizadas seguían la distribución normal.

La estandarización consiste en sustraer al valor de cada mes el promedio del registro para dicho mes, y dividir este producto entre la desviación estándar, para que los valores tengan media 0 y desviación estándar 1.

Este test Mann-Kendall, método no paramétrico, se define según la siguiente expresión (Önöz y Bayazit, 2002)

$$S = \sum_{i < k} \text{sgn}(y_{kj} - y_{ij}) \quad (1)$$

donde:

$$\text{sgn}(y_{kj} - y_{ij}) = \begin{cases} 1 \rightarrow (y_{kj} - y_{ij}) > 0 \\ 0 \rightarrow (y_{kj} - y_{ij}) = 0 \\ -1 \rightarrow (y_{kj} - y_{ij}) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Boauza, et al (2006) utilizaron una modificación de este test conocida como Test Estacional de Mann-Kendall (SMK), que consiste en la suma de las estadísticas individuales del test de MK para cada estación, con lo que se consigue la eliminación de la componente estacional que hacía inviable la utilización del test con este tipo de datos.

$$S = \sum_{j=1}^m S_j \quad (3)$$

Donde m es el número de estaciones o períodos cíclicos identificados en nuestra serie de datos.

Cuando el número de datos a tratar es elevado ($n > 40$) se utiliza el test estadístico Z para la detección de tendencias. Este test se define según:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \rightarrow S > 0 \\ 0 \rightarrow S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}} \rightarrow S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

La varianza de S se calcula mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

Los resultados obtenidos demuestran una tendencia positiva en 4 de las 5 ciudades analizadas, a saber: La Paz, Mulegé, Loreto y Constitución; con valores Z de la distribución normal de 5.2, 3.6, 4.1 y 3.4; todos ellos muy significativos estadísticamente; por lo menos a 0.025, intervalo de confianza. La única ciudad que no mostró una tendencia en el análisis fue San José del Cabo.

La figura (12) muestra las frecuencias, agrupadas por decenios desde Enero de 1921 hasta Septiembre del 2007; para estas se utilizaron los datos provenientes de la estación meteorológica La Paz (CNA, 2007). Como se puede apreciar las distribuciones se aproximan a la normal y se van recorriendo hacia los valores positivos, cada vez. Las distribuciones para las demás ciudades son semejantes, analizadas con STATISTICA 6.0, ninguna presento una χ^2 mayor a 2.

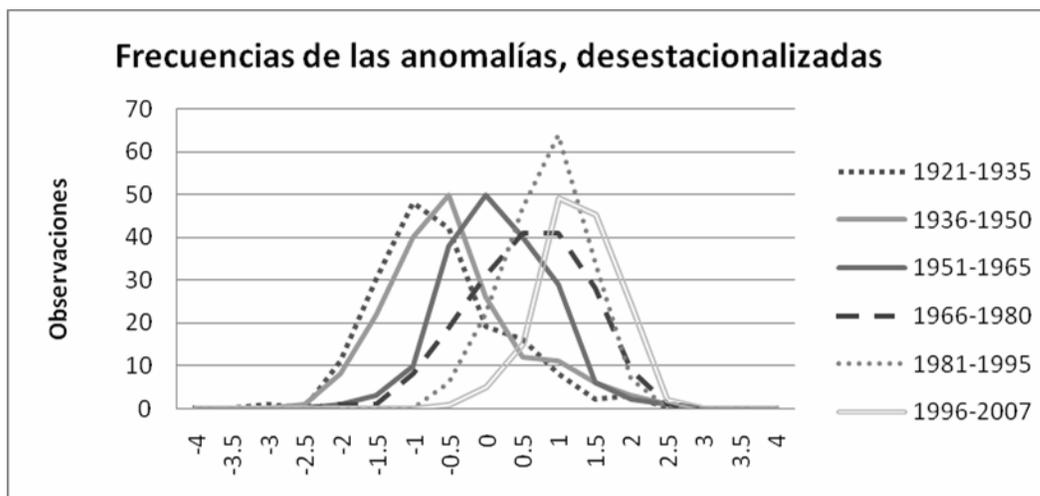


Fig. 12 Frecuencias de las anomalías para La Paz, agrupadas en decenios

Se espera, según varios modelos compilados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), que la temperatura en el estado continúe con la tendencia a la alza, la magnitud del aumento dependerá en los esfuerzos que se hagan para mitigar el efecto invernadero, incluida la diversificación de la generación eléctrica (INE, 2005). En la figura siguiente (13) se muestran las proyecciones de la temperatura en la entidad, en los distintos escenarios del IPCC (INE, 2005). Según las estimaciones, para el 2080 se estima que la temperatura media haya alcanzado un aumento de entre 2 y 4° C.

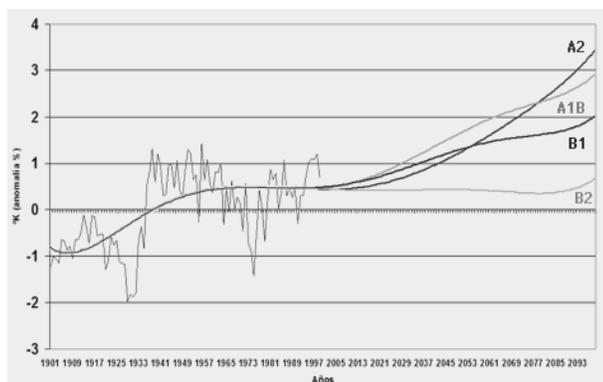


Fig. 13 Proyecciones de temperatura para el Estado, INE 2005

Los escenarios de emisiones que proyectan las concentraciones de gases de efecto invernadero contemplan diversas hipótesis relativas al desarrollo socioeconómico del planeta. Estos escenarios se clasifican en:

A1B: Emisiones medias-altas: rápido crecimiento económico regional con la introducción de tecnologías nuevas y eficientes. Existe un balance entre el uso de fuentes de energía fósil y no-fósil.

A2: Emisiones altas: Existe crecimiento constante de la población, el desarrollo económico está regionalmente orientado y el cambio tecnológico es muy fragmentado y más lento que en otros escenarios.

B1: Emisiones Medias-Bajas: Misma población global y cambio en las estructuras económicas. Uso de fuentes de energía eficientes y soluciones globales hacia la economía, la sociedad y el ambiente sustentable.

B2: Emisiones Bajas: Soluciones locales para la economía, la sociedad y el ambiente sustentable. Está orientado hacia la protección ambiental y la igualdad social que se enfoca en niveles locales y regionales.

3. Hipótesis de trabajo

Existen importantes oportunidades para ahorrar los impactos económicos y ecológicos que tiene la generación de electricidad para abastecer al Estado de Baja California Sur; actualmente la Entidad se encuentra vulnerable a los efectos que pudiera tener una elevación en la demanda o en los precios de combustibles suministrados para producir electricidad, mediante la utilización de métodos numéricos se puede calcular qué riesgos puede correr la entidad en caso de uno o ambos de los anteriores.

4. Objetivo general

Proyectar el consumo de energía eléctrica del año actual al 2030 para el estado de Baja California Sur, en base a la estructura actual del consumo y suministro de energía, así como en base a ciertos supuestos económicos, poblacionales y ambientales.

4.1 Objetivos particulares

- a) Calcular cuál sería la mezcla del suministro de energía de las distintas tecnologías con el menor costo económico y el menor impacto ambiental bajo distintos escenarios de precios de combustibles, crecimiento de la demanda y cambios en políticas ambientales, y con la menor vulnerabilidad.
- b) Evaluar la factibilidad de la implementación de las tecnologías renovables, así como sus beneficios en el costo de generación y en la emisión de dióxido de carbono.
- c) Evaluar qué porcentaje máximo de energía puede producirse en el estado a partir de fuentes renovables

5. Materiales y métodos

5.1 Sitio de Estudio

Baja California Sur se ubica en el noroeste de la República Mexicana. Sus coordenadas son: al norte 28°00'; al este 109°25', al oeste 115°05' de longitud oeste. El estado tiene una extensión de 71,428 km², cantidad que representa el 3.7% del territorio nacional. Está compuesto por 5 regiones geográficas que comprenden el Desierto Central, la Serranía, el Desierto de Vizcaíno, los Llanos de la Magdalena y Los Cabos. Su relieve se caracteriza por la sierra y la planicie costera. La sierra paralela a la costa, de ligeras pendientes por el oeste y escarpada hacia el Golfo de California, se prolonga hasta el mar y tiene una altitud media de 600 m; siendo el nivel del mar la mínima y 2080 la máxima. Está formada por rocas de origen volcánico y recibe el nombre local de Sierra de La Giganta. Una amplia planicie costera por el occidente, con 40 km de anchura media, permite la formación de extensos llanos como los de Santa Clara, Berrendo y la Magdalena e Hiray, de rocas sedimentarias marinas, en especial calizas. (PDUCP, 2008).

El estado está constituido por 5 municipios: Los Cabos, Loreto, Comondú, Mulegé y la capital La Paz. La entidad es la menos poblada del país, de acuerdo con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, registró una cifra de 423,516 habitantes y una densidad de seis habitantes por kilómetro cuadrado. La mayor parte de la población se concentra en la ciudad de la Paz y otras áreas en desarrollo como la zona de Los Cabos; además, el estado registra una elevada tasa de migración (INEGI, 2006).

El clima del estado es seco desértico en las partes bajas; la temperatura máxima sobrepasa los 40 ° C en verano y la mínima llega a descender del 0° C en el invierno; sólo en la región de Los Cabos el clima es cálido subhúmedo, influido por los ciclones. Vientos dominantes en primavera, provenientes del oeste y sur; en verano, del sur y suroeste; en otoño, del noroeste y en invierno, del norte y noroeste.

La precipitación pluvial, presenta una variación estacional. En invierno la mayor parte de la precipitación depende del sistema de ciclones de invierno favorecida por los vientos del oeste, en verano depende de la influencia de las masas aire originadas en el Golfo de México; en otoño depende del complejo de tormentas tropicales y huracanes del Pacífico. El mes más seco del año es mayo. En verano las lluvias que se presentan se encuentran relacionadas con las características del relieve, encontrando mayor precipitación en las altas montañas y asociada a movimientos ascendentes de aire húmedo. La precipitación media anual en la zona varía de los 50 mm. a los 400 mm. La precipitación total anual promedio es de 182.4 mm (Robles-Gil, 1997; Gob. BCS, 2008).

En lo que respecta a hidrografía, Baja California Sur es surcada por corrientes de tipo estacionario con caudal sólo en época de lluvias que forman arroyos turbulentos y depositan sus aguas en el mar, principalmente en la vertiente del pacífico, como los arroyos San Benito, san Miguel y Raymundo; el río San Ignacio, de mayor longitud, desemboca en la Bahía de Ballenas. El estado tiene 2,230 km de costas, entre las que destacan las bahías de Sebastián Vizcaíno, Magdalena, La Paz, Asunción, Ballenas, Concepción y San Carlos (PDUCP, 2008).

5.1.1 Actividades económicas

En la Industria de la Construcción, el Estado cuenta con 77 empresas dedicadas a este giro. Como consecuencia a la política nacional de vivienda, la cual se aplica principalmente en los municipios de La Paz y Los Cabos genera una dinámica, gracias a la cual se estima que durante el ejercicio 2005 se incrementaría a 90 empresas. La industria minera no presenta actividades relevantes, aunque en la zona existe una mina de roca fosfórica actualmente inactiva pero con capacidad de ser explotada nuevamente.

La Agroindustria y la Planta Industrial Pesquera se desarrollan principalmente en pasteurizadoras de leche, enlatado de productos de mar y recientemente con instalaciones para cultivos orgánicos e invernaderos. (PDUCP, 2008).

5.2 Información general

Para evaluar la mejor opción de suministro de energía para Baja California Sur, además de factibilidad de la generación a partir de fuentes renovables, así como su competitividad frente a la producción de energía a partir de combustibles fósiles se desarrolló un modelo estocástico de enteros mixtos el cual se codificó en una hoja de cálculo de Excel para después resolverse con Premium Solver Platform V. 8.0 (Frontline Systems). Dicho modelo fue realizado en la División de Investigación de Adaptación e Impacto del Environment Canada de Canadá, el equivalente Canadiense de la SEMARNAT, con la ayuda del M. en C. Stephen Stoyan y el Dr. Bradford Bass.

Para hacer las proyecciones de las demandas futuras se empleo información para el estado de Baja California Sur del Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI), además de las proyecciones de población de la CONAPO hasta el año 2030 para la entidad; los datos de consumo por tarifa doméstica, industrial, agrícola, servicios y comercial se obtuvieron de la página de la CFE (www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Historico.aspx), el número de usuarios desglosado por zona y por tarifa (incluidas las tarifas 1A a 1F, que son reportadas por temperatura) fue proporcionado por la Dirección de Transmisión de CFE unidad La Paz. Para hacer la proyección de consumo se uso una relación lineal entre la población y las tarifas, tomando en cuenta la estrecha relación entre el aumento poblacional y el aumento de personas empleadas en distintos rubros; el consumo doméstico unitario, es decir, por usuario, presentaba una tendencia al aumento, con fluctuaciones, se calculó la tendencia con una función logarítmica desde el año 1996, cuando entró en vigor el horario de verano en nuestro País. Esta también fue incluida en la proyección de la demanda energética con el supuesto de que la distribución actual de consumo siga en el futuro.

Tarifas de la CFE

La CFE emplea distintas tarifas de cobro por el suministro de electricidad, dependiendo del uso final, de los subsidios disponibles del gobierno y, para Consumo Doméstico, del clima de la localidad.

Tarifas domésticas

Estas tarifas se aplican a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico. Las tarifas se aplican dependiendo de la temperatura media mínima en verano. La Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC), se aplica a usuarios que registran un Consumo Mensual Promedio superior al Límite de Alto Consumo definido para su localidad

Tabla IV Tarifas según la temperatura y límites de Alto Consumo aplicadas en BCS

Tarifa	Temperatura media mínima en Verano	Límite de Alto Consumo, KWh/mes
1	<25° C	>= 250 (doscientos cincuenta)
1A	25° C	>= 300 (trescientos)
1B	28° C	>= 400 (cuatrocientos)
1C	30° C	>= 850 (ochocientos cincuenta)
1D	31° C	>= 1,000 (un mil)
1E	32° C	>= 2,000 (dos mil)

Además de las Tarifas Domésticas, en el Estado se tienen las tarifas conocidas como Comerciales (T-2 y T-3), las de Servicios (T-5A y T-6), las Agrícolas (T-9, T-9-CU, T-9M y T-9N), las de Media Tensión (T-OM y T-HM) y las de Alta Tensión (Tarifas HS y HSL). La tabla V brinda mayor detalle de cada una.

Tabla V Clasificación de las tarifas comerciales, de servicio, agrícolas e industriales

Tarifa	Servicio
Tarifa 5A	Alumbrado Público
Tarifa 6	Bombeo de Aguas Potables o Negras
Tarifa 9	Bombeo Agrícola, Baja Tensión
Tarifa 9CU	Bombeo Agrícola con estímulo, con Cargo Único
Tarifa 9M	Bombeo Agrícola Media Tensión
Tarifa 9N	Bombeo Agrícola con estímulo, Nocturna
Tarifa 2	Baja Tensión, demanda menor a 25 KW
Tarifa 3	Baja Tensión, demanda mayor a 25 KW
Tarifa OM	Ordinaria Media Tensión, demanda menor a 100 KW
Tarifa HM	Horaria Media Tensión, demanda mayor a 100 KW
Tarifa HS	Horaria Alta Tensión, Nivel Subtransmisión
Tarifa HSL	Horaria Alta Tensión, Nivel Subtransmisión, Larga Utilización

Tabla VI Número de Usuarios Domésticos y de Servicios de la CFE en la Entidad, para Diciembre 2007

AGENCIA	T-1	T-1A	T-1B	T-1C	T-1D	T-1E	DAC	T-5	T-6
LA PAZ	0	0	0	0	69,830	0	409	469	49
TODOS SANTOS	0	2,533	178	0	0	0	444	34	14
CABO SAN LUCAS	0	0	1	32,618	0	0	996	122	23
SAN J. CABO	0	0	0	31,050	0	0	915	146	67
CONSTITUCION	0	0	3,764	14,811	0	0	89	96	45
LORETO	0	0	0	0	0	4,644	6	66	13
SANTA ROSALIA	0	0	0	0	2,055	4,049	8	68	20

GUERRERO NEGRO	1,485	6,143	0	0	0	0	450	33	20
-----------------------	-------	-------	---	---	---	---	-----	----	----

Tabla VII Número de Usuarios Comerciales, Agrícolas e Industriales de la CFE en la

Entidad, para Diciembre 2007

AGENCIA	T-2	T-3	T-OM	T-HM	T-9	T-9M	T-9CU	T-9N	TH S	TH SL
LA PAZ	8,650	153	499	174	2	14	94	5	1	0
TODOS SANTOS	638	3	32	10	17	11	93	2	0	0
CABO S. LUCAS	5,025	40	356	142	0	0	0	0	0	1
SAN J. CABO	4,155	49	272	132	12	7	49	0	0	0
CONSTITUCION	3,067	20	166	34	0	13	306	309	0	0
LORETO	800	5	61	13	0	0	0	0	0	0
SANTA ROSALIA	984	13	78	10	0	4	37	9	0	0
GUERRERO NEGRO	1,331	8	73	22	0	19	54	30	0	0

Cuadro (5.2)

Tabla VIII Consumo de electricidad para las tarifas de CFE, año 2006

Tarifas	MWh	Tarifas	MWh
1	2	2	154,520
1A	14,581	3	14,090
1B	39,738	9	388
1C	150,995	9M	7,951
1D	206,769	9CU	70,333
1E	28,049	9N	48,546
1F	0	OM	108,482
DAC	69,236	HM	455,062
5A	29,589	HSL	75
6	49,681	HT	283

Para generar la información de consumo del 2007 se hizo un ajuste lineal utilizando los usuarios reportados a Diciembre del 2007 (Tablas 4 y 5), en dicho año hubo un cambio considerable en la distribución tarifaria de la región de Los Cabos, cuando pasó de ser región cobrada bajo la Tarifa 1-B a la Tarifa 1-C, así como una aparición considerable de 1,485 Usuarios de Tarifa 1 en Guerrero Negro, que no estaban en los registros del 2006 (CFE, 2007).

La información de los costos de generación eléctrica a partir de la energía eólica se obtuvo de Jaramillo (2004), los datos de emisiones y las capacidades de las plantas basadas en combustibles fósiles proviene del documento North American Power Plant Emissions, (Miller y Van Atten, 2004), el límite de la producción eólica surgió tomando en cuenta lo propuesto por Borja (2006) quien asegura una capacidad considerablemente estudiada de 100 MW y una de 50 MW adicionales pobremente estudiados para la entidad; la producción geotérmica no puede incrementarse en la entidad (Hiriart, 2003 y Portugal et al 2000). Los precios de instalación y generación para las centrales basadas en combustibles proviene de la Gerencia de Programación de Sistemas Eléctricos de la CFE (2006), y los precios de instalación y generación para ambos tipos de centrales solares fueron tomados de Ramírez y Torres, (2006).

Tabla IX Cuadro datos por tipo de tecnología de las plantas generadoras

Combustóleo	Combustóleo /diesel	Diesel	Turbogás	Eólica	Fotovoltaica	Solar térmica	Geotérmica
Punta Prieta	San Carlos, Coromuel, Los Cabos	Sta. Rosalía	Constitución y Los Cabos	Guerretero Negro y San Juanico	San Juanico		Tres Virgenes
113	195	11	128	0.7	0.02	0	8
38.875	43.33	11	43	Variable	Variable	Variable	8
989880	1708200	96360	1121280	6132	87.6	0	70080
340545	379570.8	96360	376680	Variable	Variable	Variable	Capacidad agotada
-----	1000000	100000	568300	1000	3500	2000	-----
97.14286	169.3	578.095	101.9048	50	190	100	43.80952
917	784	784	1352	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	175200	Ninguno	Ninguno	70080

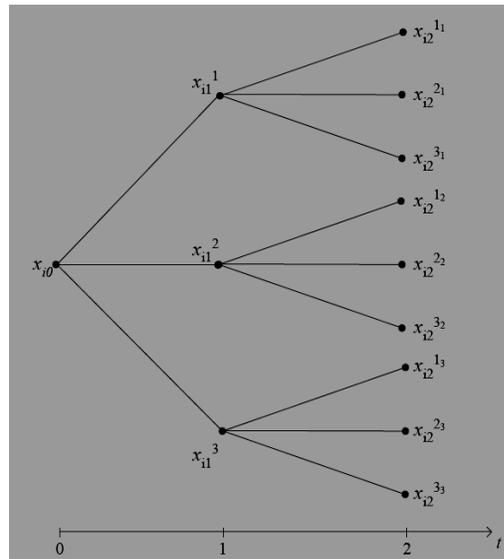
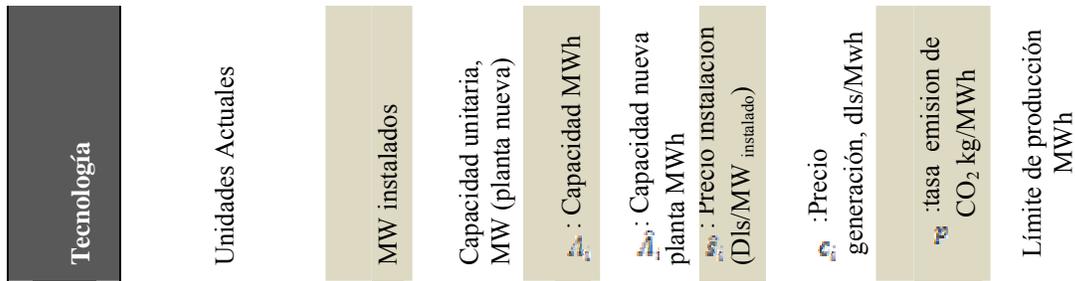


Fig. 14 diagrama de la evolución de tres escenarios en tres etapas

El modelo se divide en tres etapas, los primeros años (2008,2009 y 2010), es decir $t=1,2,3$, están englobados en la primer etapa, los siguientes, $t=4,5,\dots,16$, (2011 a 2023) abarcan la segunda, después de la primer ramificación; el resto de los años, $t= 17,\dots,23$ (2024 a 2030) quedan dentro de la tercer etapa. Para introducir los dos escenarios de variaciones de precios de generación a partir de combustibles fósiles se ocupó la desviación estándar promediada de las tecnologías combustóleo (CT) y turbogás (CTG) de los valores reportados por CFE para el periodo del 2000 al 2006 (CFE, 2007), el resultado fue 18% de variación, cubriendo variaciones de 0.82 y 1.18 en la primer ramificación y de 0.82^2 hasta

1.18² en la segunda. En el caso de los aumentos de la demanda se utilizó el valor de las anomalías de consumo quitando el factor poblacional linealmente interpolado entre los valores censales; los valores obtenidos fueron 0.95 y 1.05 para la primer ramificación, englobando desde 0.95² hasta 1.05² en la segunda ramificación.

Solver es un programa de optimización que permite al usuario calcular cual es la mejor manera de utilizar los recursos escasos; la solución óptima puede representar minimizar los costos o maximizar las ganancias (<http://www.Solver.com>). El Solver emplea elementos cuantificados de los modelos: variables de decisión, restricciones y la función objetivo; las variables de decisión miden la cantidad de recursos a usar, en este caso, la cantidad de energía de cada fuente, las restricciones se detallarán posteriormente y la función objetivo es minimizar los impactos económicos y ecológicos de la producción de energía.

El Solver usa un algoritmo que busca una solución llamada “feasible”, y después trata de mejorarla encontrando otra solución que disminuya el valor de la función objetivo. El algoritmo usado para el modelo fue el estándar (lineal), por las características del modelo; y el método de simulación empleado fue el de Monte Carlo.

5.3 Modelo Estocástico de Programación de Enteros Mixtos

5.3.1 Parámetros:

$t = 0, 1, \dots, T$ (para los años 2007, 2008, ..., 2030)

$T = 23$ (último año)

$i = 1$ (Combustóleo), 2 (Combustóleo-Diesel), 3 (Diesel), 4 (Turbogás), 5 (Viento), 6 (solar fotovoltaica), 7 (solar térmica), 8 (geotérmica) –Indicador del método de generación

$l = 1, \dots, L$ –Escenarios del modelo; total = L

d_0 : La cantidad total de energía demandada en la región para el año $t = 0$ (2007)

$d_t^{l(t-1)}$: La cantidad total de energía demandada en la región para el año $t > 0$ bajo el escenario l y la evolución $l - 1$ del escenario

C_{it}^0 : Costos de mantenimiento y operación (\$/MWh) para el $t = 0$

$C_{it}^{l(t-1)}$: Costos de mantenimiento y operación (\$/MWh) bajo el escenario l y la evolución $l - 1$ del escenario

S_i : costo de construcción de una planta nueva.

p_{it} : Dióxido de carbono emitido por la planta generadora i (kg/MWh) en el tiempo t , donde $i = 1, 2, 3$

A_i^t : Cantidad de energía capaz de producirse en el tiempo t

\tilde{A}_i^t : Cantidad de energía adicional capaz de producirse de la planta i en el tiempo t debido a construcción

N : Valor escalar grande (10^{20}) que es empleado para fijar la variable binaria para construir una planta.

λ : Parámetro multi-objetivo de restricción de emisiones, $0 \leq \lambda \leq 1$

j : escenario de restricciones; 1= sin restricciones, 2= con restricción de 5% en emisiones

5.3.2 Variables:

x_{i0} : Producción de energía de la planta i en el tiempo $t = 0$ (MWh)

$x_{it}^{l(l-1)}$: producción de energía de la planta i en el tiempo $t > 0$

b_{i0} : Variable binaria que indica la construcción de una planta $i = 1, \dots, 7$ en el primer año

$b_{it}^{l(l-1)}$: Variable binaria que indica la construcción de una planta $i = 1, \dots, 7$ en el año t bajo el escenario l y la evolución $l-1$ del escenario

5.4 Función Objetivo: minimizar los costos y emisiones

$$\min \left(\sum_{i=1}^8 (c_{i0} + s_i b_{i0}) + \sum_{t=0}^T \sum_{l=1}^8 \sum_{i=1}^8 (c_{it}^{l(l-1)} x_{it}^{l(l-1)} + s_i b_{it}^{l(l-1)}) \right)$$

(6)

Sujeto a:

La producción del año 0 debe igualar o exceder la demanda de ese mismo año

$$\sum_{i=1}^8 x_{i0} \geq d_0$$

(7)

La producción del año t debe igualar o exceder la demanda del mismo

$$\sum_{i=1}^8 x_{it}^{l(l-1)} \geq d_t^{l(l-1)} \quad \forall t = 0, \dots, T, l = 1, \dots, L$$

(8)

La producción de energía debe ser menor que el valor escalar de magnitud grande cuando se instala una planta

$$x_{i(t+1)}^{i(t+1)} \leq N b_{it}^{i(t+1)} \quad \forall i = 1, \dots, 8, l = 1, \dots, L, t = 0, \dots, T) \quad (9)$$

Una vez que se construye una planta de cualquier tecnología no se puede retirar del sistema interconectado

$$b_{it}^{i(t+1)} \leq b_{i(t+1)}^{i(t+1)} \leq \dots \leq b_{i(t+k_0)}^{i(t+1)} \quad \forall i = 1, \dots, 8, l = 1, \dots, L, t = 0, \dots, T) \quad (10)$$

La energía producida por una tecnología i no puede exceder la capacidad instalada para esta en el año $t=0$

$$x_{i0} \leq A_i^0 \quad \forall i = 1, \dots, 8 \quad (11)$$

La energía producida por una tecnología i no puede exceder la capacidad inicial sumada a la capacidad nueva para el año t

$$x_{it}^{i(t+1)} \leq A_i^0 + \sum_{l=1}^L b_{it}^{i(t+1)} \quad \forall i = 1, \dots, 8, l = 1, \dots, L, t = 0, \dots, T) \quad (12)$$

Restricción de no-negatividad para la producción de energía

$$x_{i0}, x_{it}^{i(t+1)} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, 8, l = 1, \dots, L, t = 0, \dots, T) \quad (13)$$

Restricción de no negatividad para la instalación de plantas

$$b_{it}, b_{it}^{j(t-1)} \geq 0$$

(14)

Restricción opcional de reducción de emisiones

$$\left(\sum_{i=1}^S p_{it} X_{it} + \sum_{i=1}^S \sum_{s=1}^T \sum_{l=1}^L p_{it} X_{it}^{j(t-1)} \right)_{jt} \leq \lambda \left(\sum_{i=1}^S p_{it} X_{it} + \sum_{i=1}^S \sum_{s=1}^T \sum_{l=1}^L p_{it} X_{it}^{j(t-1)} \right)_{jt}$$

6. Resultados

El programa estocástico ya codificado en el Premium Solver Platform fue corrido en 6 ocasiones distintas cubriendo los escenarios estocásticos de precio y demanda, la mezcla de ambos y todos los anteriores incluyendo una política de reducción de emisiones de dióxido de carbono en 5%. En la siguiente figura se muestra un árbol con la familia de modelos .

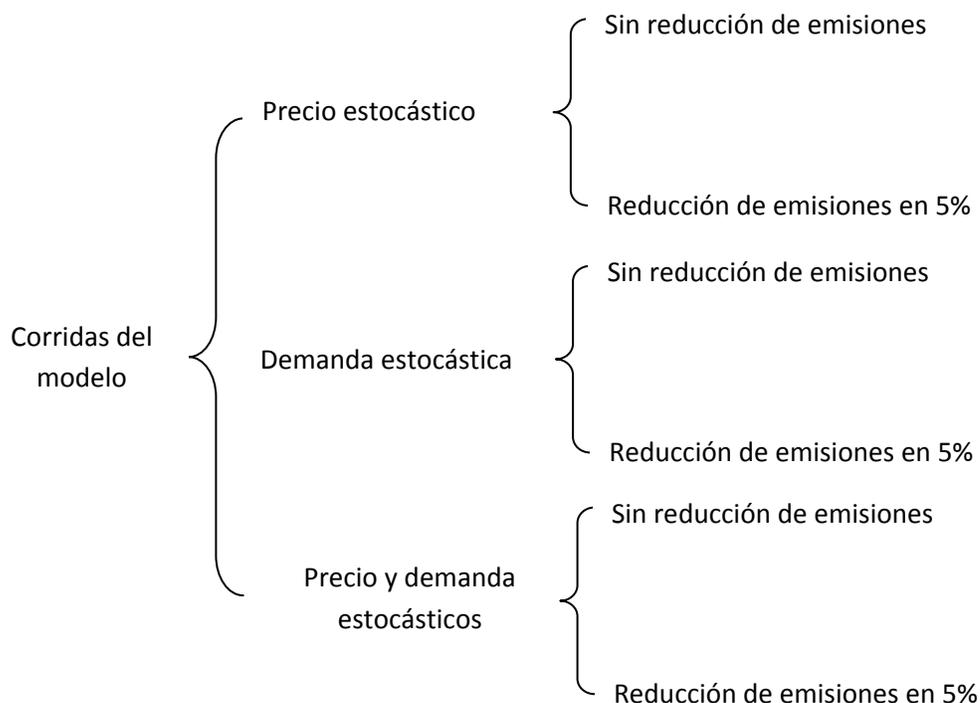


Fig. 15 Esquema de las corridas efectuadas con el modelo estocástico

L

Los valores bajo y alto para los escenarios de precio fueron 0.82 y 1.18, respectivamente, calculados en base a la desviación estándar; los valores bajo y alto para el caso de la demanda estocástica fueron 0.95 y 1.05, sugeridos en base a los porcentajes de decremento y aumento de la demanda; no se usó la desviación estándar como en el caso del precio por la fuerte presión que ejerce el factor poblacional sobre el consumo. El valor de 5% en ahorro de emisiones de dióxido de carbono es sugerido en base a los ahorros a los que se han comprometido en distintas regiones del mundo, que llegan hasta objetivos de un 20% de ahorro.

La mezcla de capacidades ya instaladas aportada al programa codificado en Solver Premium Platform se muestra en la tabla XI; no se dejaron accesibles nuevas instalaciones de generación a partir de combustóleo ni geotérmica, debido a que los programas de CFE restringen la adición de la primera; y que la segunda según la literatura (Hiriart, 2003) señalan que ha llegado a su límite la capacidad instalada en esta entidad. Se dejó al programa instalar hipotéticamente 1 unidad de turbogás, 2 de combustóleo-diesel que son las más populares para instalar en la entidad, un campo eólico de 50 MW instalados con un factor de 25% recomendado en Jaramillo (2004), una planta solar fotovoltaica de 12.5 MW y una de solar térmica de 25 MW, ambas con 60% de factor de planta por su intermitencia en el ciclo diario.

Tabla X datos aportados al programa estocástico

Índice	Tipo de tecnología	Precio dl/MW instalado	Capacidad instalada MWh	Capacidad MW nueva planta	Precio Nueva Planta miles de Dls	Capacidad GWh nueva planta	Tasa de emisión CO ₂ kg/MWh
X1	Combustóleo	1070000	593928	0	0	0	917
X2	Comb. Diesel	1000000	1024920	25.998	25998	136.645	784
X3	turbo gas	568300	672768	30.1	17106	184.573	1352
X4	Eólica	1000000	0	50	50000	109.500	(no aplica)
X5	solar pv	3500000	0	12.5	43750	65.700	(no aplica)
X6	solar térmica	2000000	0	25	50000	131.400	(no aplica)
X7	geotérmica	1000000	70080	0	0	0	(no aplica)

6.1 Precio estocástico

6.1.1 Sin reducción de emisiones

Para el caso de una variación en los precios de los combustibles fósiles no existe diferencia entre los 3 escenarios, en ningún caso se recurre a las tecnologías renovables, teniendo en cuenta que sus precios no cambien y que no haya alguna política del gobierno para emplearlas. Solamente se recurre a la geotérmica ya instalada en la entidad. Como en todos los casos siguientes se hace uso total de la capacidad de generación instalada de la tecnología Combustóleo y Turbogás, además de que se plantea la instalación de capacidad adicional de Turbogás a mitad del periodo modelado

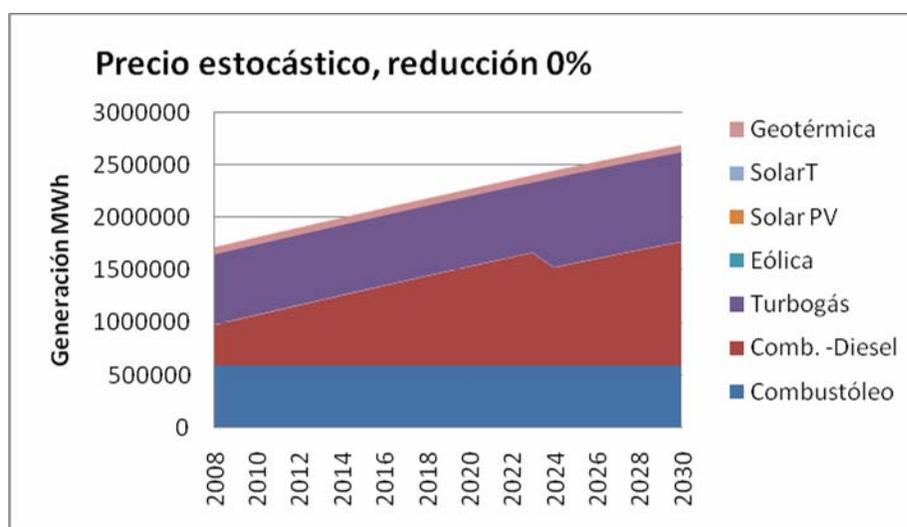


Fig. 16 Generación a partir de las tecnologías en los 3 escenarios de precio estocástico

6.1.2 Con reducción de emisiones

Existiendo una iniciativa de reducción de 5% de las emisiones, para el caso de precios cambiantes de la generación a partir de tecnologías que usen combustibles fósiles, la solución óptima arrojada por el modelo recurrió a las fuentes renovables; para los escenarios de precios lineal y bajo se recurre a la

tecnología Solar Térmica para satisfacer la demanda en los últimos años; llama la atención el segundo escenario que muestra la factibilidad del uso de las tecnologías eólica y solar térmica cuando se combina un incremento en los precios con una política que restrinja las emisiones. En este caso la participación de los renovables alcanzó un 11.5% de la generación total (figura 17b). La diferencia de costos entre el caso de no reducción fue de 180 millones de dólares más.

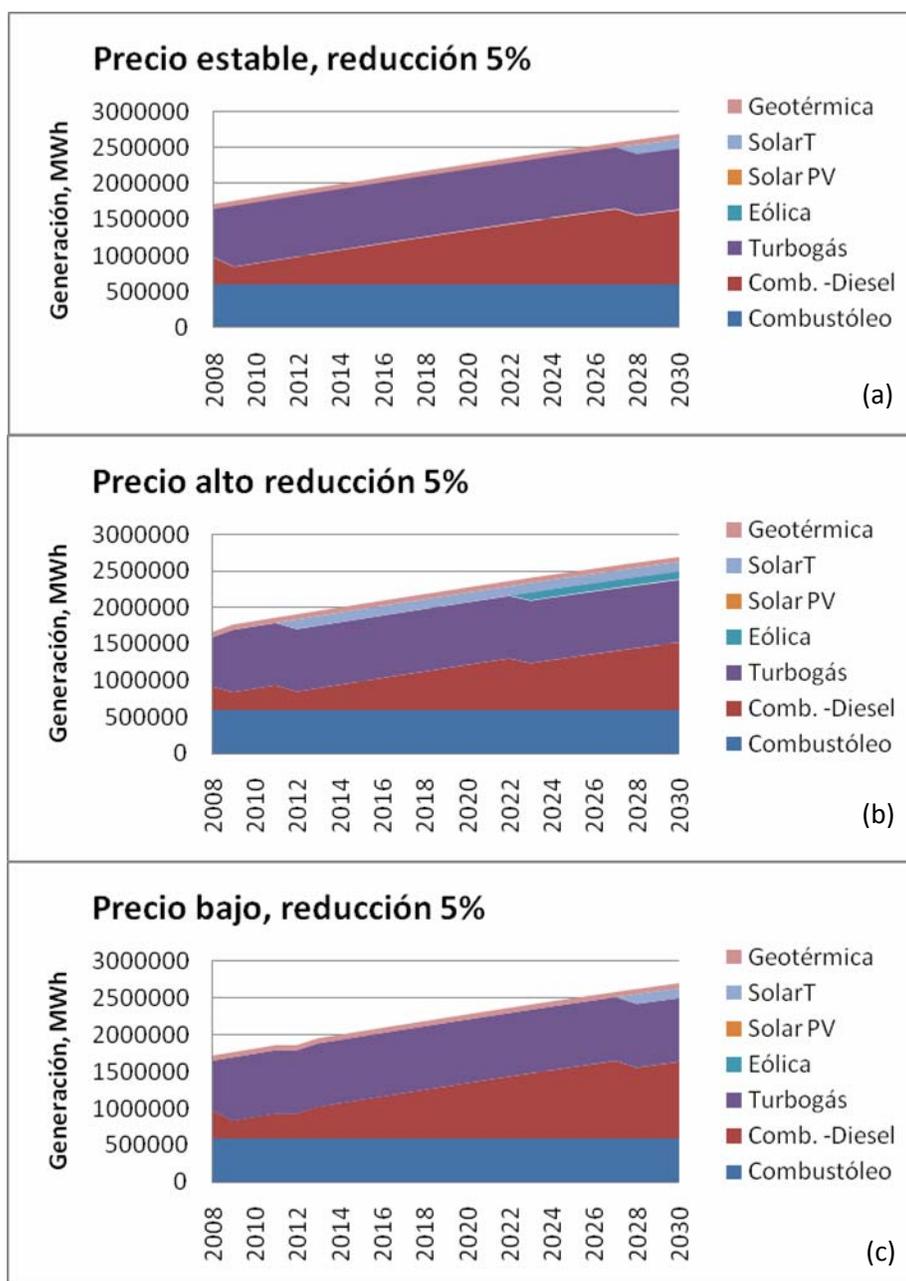


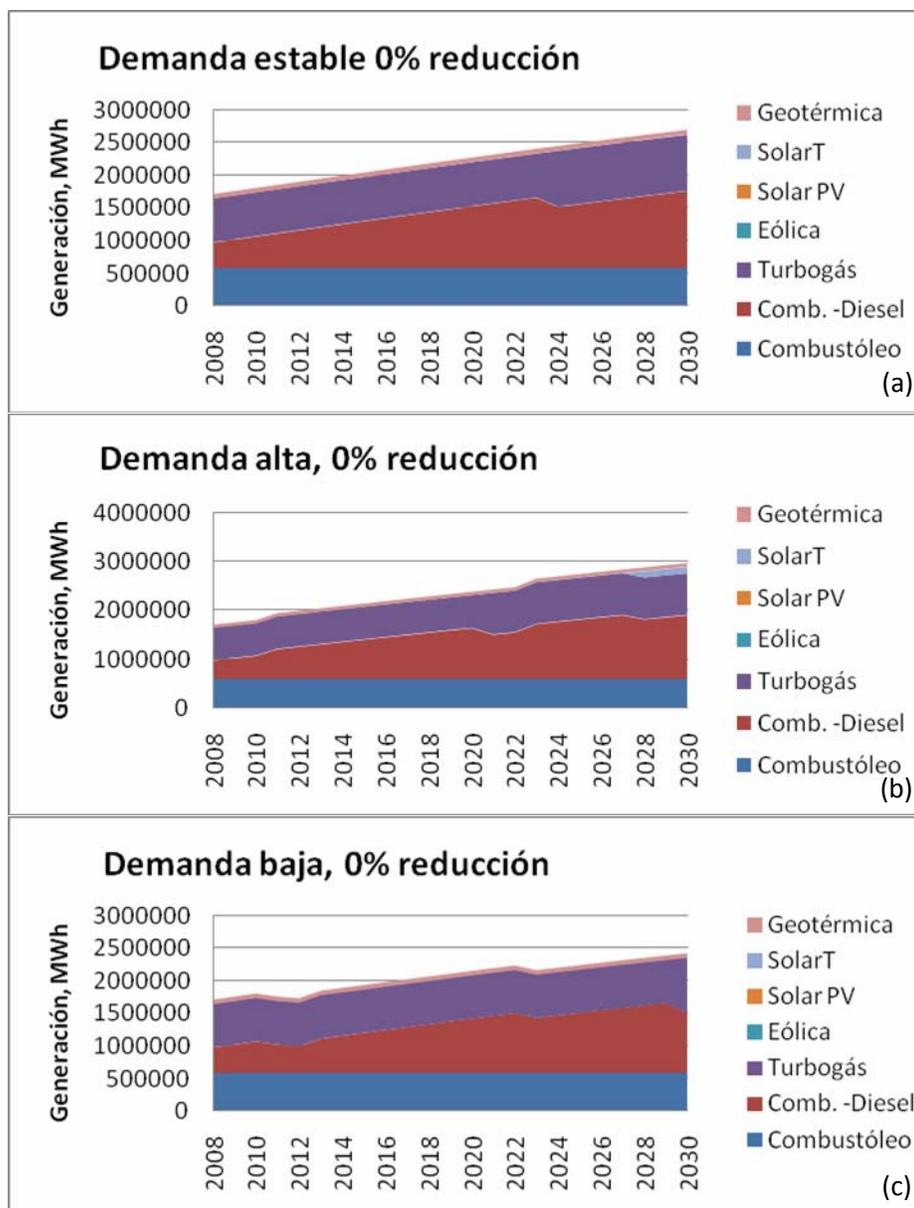
Fig. 17 Generación a de las distintas tecnologías en los escenarios de precios lineal (a), alto (b) y bajo (c), con restricciones en la emisión

6.2 Demanda estocástica

6.2.1 Sin reducción de emisiones

La mezcla óptima en el caso de una demanda cambiante se muestra en la figura siguiente; la tecnología solar térmica aparece para completar la mezcla en los últimos años de la proyección, preferida a una segunda instalación de

combustóleo diesel. El modelo recurre a la instalación de una unidad de turbogás y uno de combustóleo-diesel para satisfacer las demandas pronosticadas.

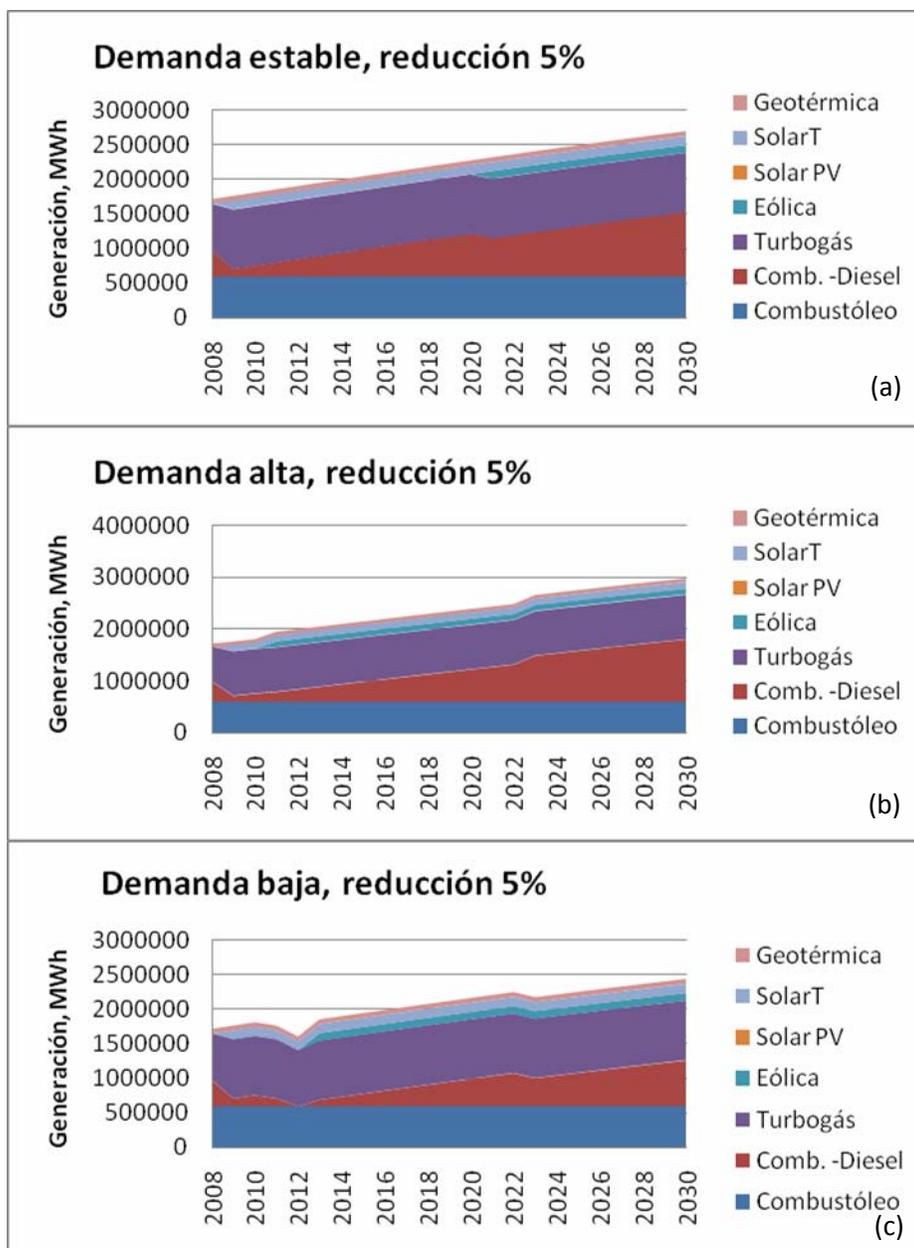


*Fig. 18
Generación a
partir de las
distintas
tecnologías en
los escenarios de
demanda lineal
(a), alto (b) y
bajo(c), sin
restricciones en
la emisión*

6.2.2 Con reducción de emisiones

Siendo el caso que exista una iniciativa para reducir las emisiones y se presenten cambios en la demanda, el modelo recurre a las tecnologías renovables desde las primeras etapas; las participaciones de estas fuentes son de 11.5, 10.5

y 12.8% para los escenarios lineal, alto y bajo, respectivamente. La diferencia de costos con el escenario sin reducción fue de 400 millones de dólares más.



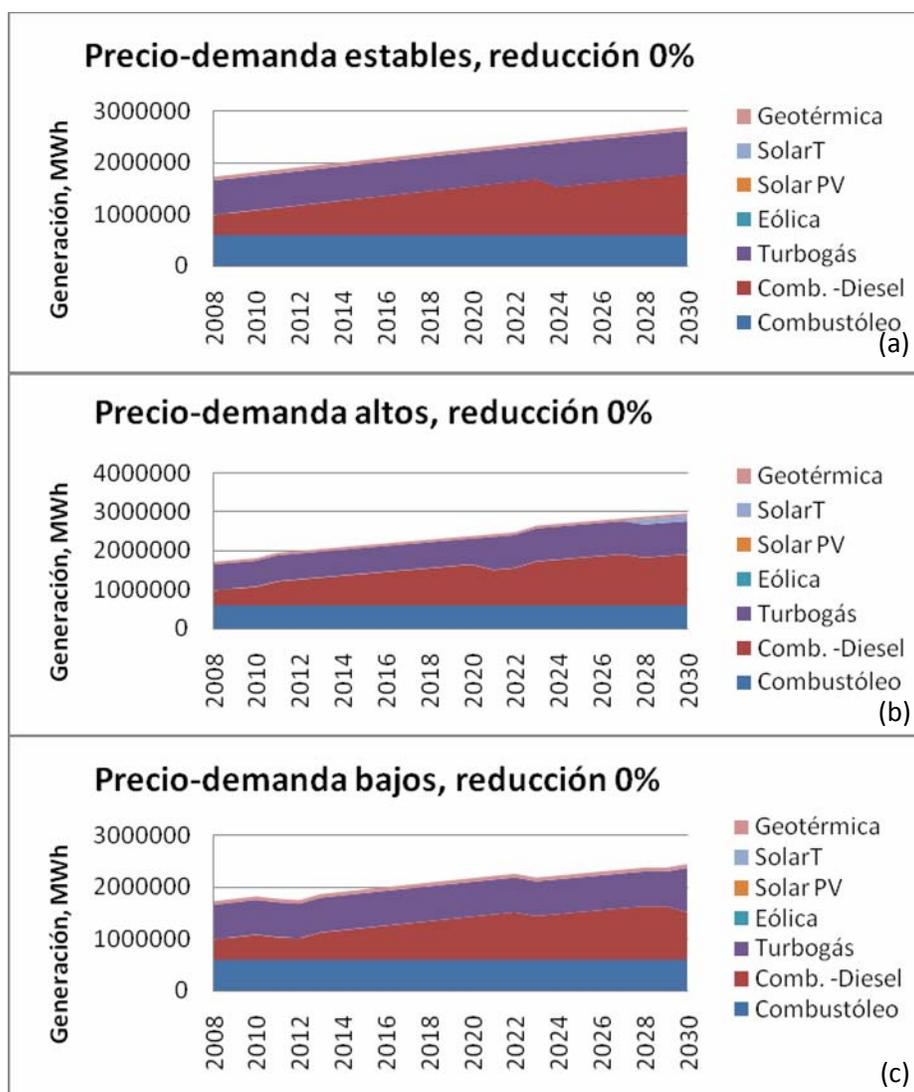
*Fig. 19
Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda lineal (a), alto (b) y bajo (c), con restricciones en la emisión*

6.3 Precio y demanda estocásticos

6.3.1 Sin reducción de emisiones

Aún en el peor escenario posible (figura 20b), cuando los precios de generación fósil y la demanda aumenten, la viabilidad de las alternativas de

energía limpias no es mayor; para lograr obtener un mínimo en la función objetivo, reducir el costo, se instaló una planta de combustóleo-diesel y una de turbogás, y una de energía solar térmica en los últimos años del periodo, aunque haciendo uso de la totalidad de producción posible codificada en el modelo (25 MW de capacidad instalada).

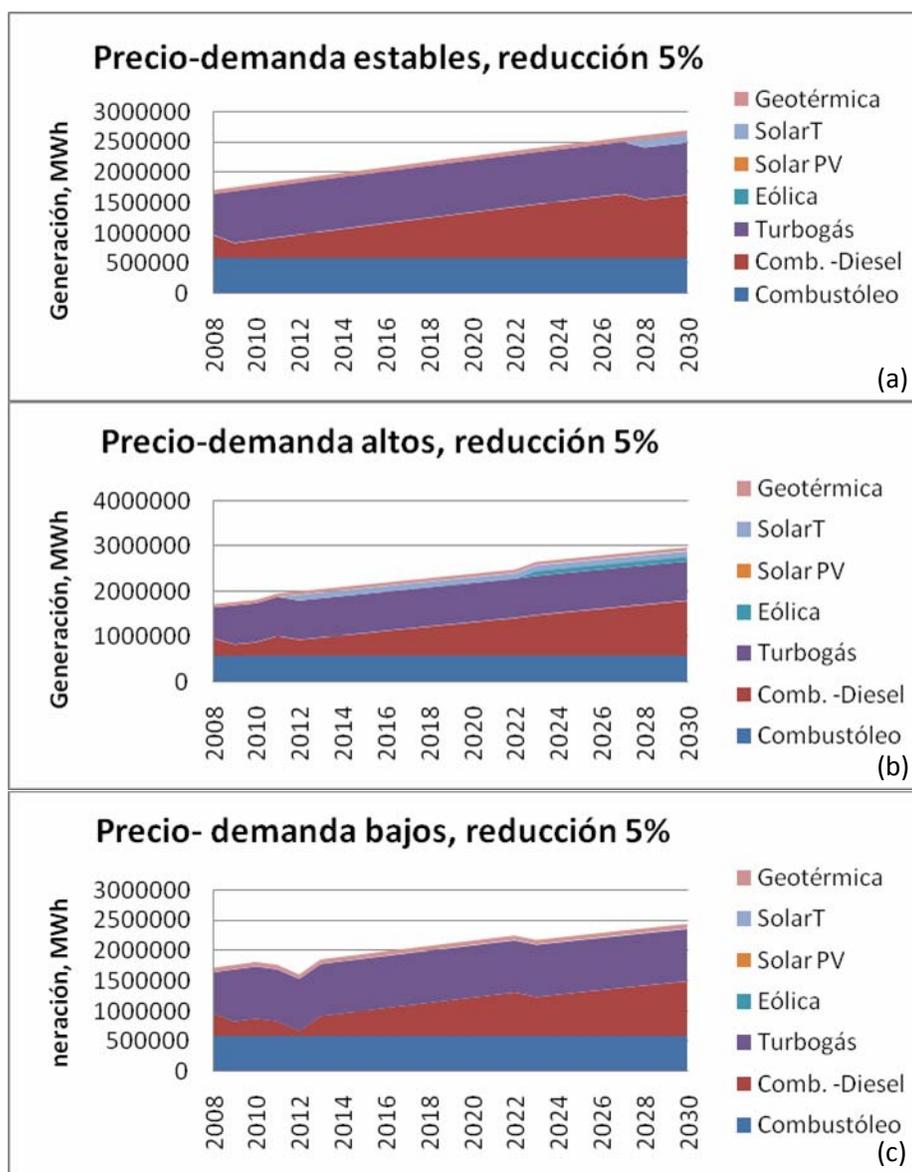


*Fig. 20
Generación a partir de las distintas tecnologías en los escenarios de demanda y precios lineal (a), alto (b) y bajo (c), sin restricciones en la emisión*

6.3.2 Con reducción de emisiones

Nuevamente, las alternativas energéticas no-convencionales son viables en el caso de que exista alguna intención de disminuir las emisiones, en este esquema la mezcla óptima computada por el programa señaló que la

aportación de estas tecnologías alcanzaría hasta un 10.5% de participación en el suministro total para satisfacer la demanda (figura 21b). La diferencia de costos con respecto al escenario sin emisión fue de 240 millones de dólares más.



*Fig. 21
Generación a
partir de las
distintas
tecnologías en
los escenarios de
demanda y
precios lineal
(a), alto (b) y
bajo (c), con
restricciones en
la emisión*

7. Discusión de Resultados

7.1 Estado actual

En la entidad el consumo actual se caracteriza por un estar principalmente repartido entre los sectores mediana industria, residencial y doméstico, en ese orden de importancia; el sector mediana industria en los últimos 5 años ha rebasado el consumo del sector doméstico; por otro lado, el sector agrícola ha ido en claro decremento debido a la disminución de la actividad agrícola, principalmente en la región del Valle. El sector industrial prácticamente desapareció durante los últimos años pero resurgió con dos usuarios en 2006 y 2007. El sector servicios sigue por debajo de los 3 principales, pero creciendo al mismo ritmo del sector doméstico, es de esperarse que este sector aumente cuando el agua de los mantos freáticos no dé abasto a la población y se tenga que recurrir a más plantas desaladoras.

La generación en la entidad está compuesta casi en su totalidad por tecnologías basadas en combustibles fósiles: en Baja California Sur encontramos plantas de Vapor (Combustóleo), Combustión Interna (Combustóleo-Diesel) y Turbogás (a Diesel), además de sistemas pequeños y aislados de diesel; por el lado de las tecnologías renovables sólo la geotérmica tiene una aportación significativa al sistema eléctrico, en el campo geotérmico Tres Vírgenes; la energía solar y la eólica se encuentran presentes para electrificación rural; en Guerrero Negro existe un aerogenerador de 0.6 MW que aporta energía para la procesadora de sal y en San Juanico se desarrolló un sistema híbrido eólico-solar-combustión interna.

Según está planeado por la Comisión Federal de Electricidad se construirán en los próximos 10 años alrededor de 7 plantas de Combustión Interna quedando afuera de la planeación la generación a partir del combustóleo, tal cantidad de plantas es necesaria para satisfacer las cargas de punta en los veranos. Por el lado de las tecnologías renovables no

se tiene ninguna instalación proyectada por dicho organismo, aunque se están haciendo estudios para desarrollar un campo eólico de 50 MW por la empresa Ecoenergy en San Carlos; el Estado cuenta con muy pocas zonas con viento de calidad y no es surcado por algún cauce perenne; por el lado de la energía solar, esta sigue siendo muy cara en comparación, sólo demuestra su competitividad en situaciones rurales; en el estado el gobierno ha instalado 47 módulos familiares de iluminación fotovoltaica, 21 refrigeradores solares y 4 equipos de bombeo durante la Administración presente, sumando una inversión total de 1.85 millones de pesos (Gobierno BCS, 2005-2007).

La administración a nivel demanda aún es incipiente en la Entidad, pero ha demostrado una maduración en los 3 años que lleva el programa de Ahorro Sistemático Integral del Fideicomiso Para el Aislamiento Térmico; en dicho periodo se han entregado créditos para sustituir 8,965 refrigeradores y 1,861 equipos de aire acondicionado, así como para aislar las envolventes de 212 casas. El siguiente paso importante en la administración a nivel demanda será la publicación final de la NOM 022 SENER para que las viviendas que se construyan en el futuro cumplan las pautas bioclimáticas de edificación, señaladas en el capítulo 2.3. Una gran ventaja para el gobierno de los financiamientos es que, al final, son los usuarios los que cubren los costos de los equipos o del aislamiento y las autoridades sólo facilitan la adquisición.

7.2 Proyecciones y limitaciones del modelo

Con la ayuda del software Solver Premium Platform se calcularon las mezclas óptimas de generación energética de las distintas tecnologías en escenarios donde la demanda y/o el precio subían y bajaban, con la ventaja de analizar todo el escenario en cuestión de minutos una vez codificados los valores dentro de la hoja de cálculo de Excel. Se le dieron valores actuales de generación y demanda reportados en la literatura y rangos de los escenarios a partir de cálculos basados en la estadística de la demanda y los precios actuales. El modelo no incluye proyecciones sobre la demanda punta, debido a que el

objetivo es evaluar la mezcla más económica de generaciones haciendo uso de distintas cantidades de cada tecnología, y no proyectar el número de plantas requeridas para el Estado, trabajo hecho ya por los departamentos de Planeación de la CFE. Tampoco se incluyeron en el modelo estimaciones de precios locales de generación fotovoltaica, sino los valores medios reportados por CONAE.

La escasez de recursos renovables para generar energía en la entidad se vio reflejada en las corridas hechas en el modelo; Baja California Sur seguirá ocupando los primeros lugares en emisión per cápita en el País, junto con los estados exportadores de energía, como Colima, Veracruz y Guerrero; y con estados industrializados, como Chihuahua e Hidalgo (Tabla XII), mientras no bajen significativamente los precios de la generación solar fotovoltaica, se incluyan proyectos verdaderamente ambiciosos de generación eólica, o se desarrolle la explotación de la energía de las mareas, aunque las tecnologías renovables sí mostraron cierta competitividad frente a la generación de Combustión Interna. La interconexión del Sistema Estatal al Sistema Interconectado Nacional tampoco resulta viable por el aislamiento de las Ciudades del Estado del resto de la República: una interconexión con el Sistema en Baja California supondría mil kilómetros de líneas de transmisión, con las pérdidas de carga inherentes a las altas temperaturas que soportarían.

Al ritmo de crecimiento actual el Estado tendrá un mayor peso en el total de emisiones del país (actualmente ocupa el 18vo lugar en emisión total) de modo que la planeación energética por a nivel de la demanda cobrará mayor prioridad cada vez, en lo que se desarrollan e instalan las tecnologías que no emiten dióxido de carbono a la atmósfera.

Otra situación que empuja la demanda al crecimiento es el aumento de temperaturas registrado en las principales ciudades de Baja California Sur (Sección 2.4.4), resultado del Calentamiento Global generalizado y del efecto de Isla Urbana de Calor, esta situación crea un círculo vicioso de mayor consumo-mayor emisión-mayor calentamiento y aún mayor consumo nuevamente; además, la relación directamente proporcional exponencial de la

temperatura y el consumo es un factor de preocupación extra, por los aumentos desproporcionales en consumo a cada grado de temperatura (sección 2.2.4).

Tabla XI Principales Emisores de dióxido de carbono por generación eléctrica en el País

Estado	Emisión doméstica Tons CO ₂ per cápita (y lugar)	Emisión por consumo total Tons CO ₂ per cápita (y lugar)	Emisión Neta por Generación 10 ³ Tons CO ₂ (y lugar)
Sonora	0.81 (1er)	2.87 (1er)	3,889 (9no)
Baja California Sur	0.69 (2do)	2.03 (4to)	1,094 (18vo)
Quintana Roo	0.60 (3er)	2.37 (3er)	216 (2mo)
Tamaulipas	0.60 (4to)	1.89 (5to)	3,911 (8vo)
Sinaloa	0.54 (5to)	1.10 (12do)	4,346 (7mo)
Campeche	0.46 (6to)	1.14 (11ro)	717 (19no)
Coahuila	0.46 (7mo)	2.56 (2do)	14,167 (1er)
Colima	0.37 (8vo)	1.71 (6to)	7,440 (5to)
Yucatán	0.36 (9no)	1.09 (13ro)	2,206 (12do)
Nuevo León	0.28 (10mo)	1.31 (9no)	1,527 (16to)

7.3 Factibilidad de la Generación Renovable

El principal factor del que depende la competitividad de las tecnologías eólica, solar y geotérmica frente a las convencionales basadas en combustóleo, diesel y gas, es la restricción de la que se haga responsable el Gobierno en las emisiones; porque por el lado económico es más barata la generación fósil en la entidad, a menos que los precios de los combustibles aumenten de forma vertiginosa hasta alcanzar el doble de los valores actuales, cosa poco probable de ocurrir, las Tecnologías Renovables solamente ofrecen algunas ventajas económicas frente a las centrales de Combustión Interna. Sin embargo, las diferencias de costos con o sin meta de emisiones, que oscila entre 180 y 440 millones de dólares, vista para un plazo de 23 años, no se aprecia incosteable y menos aún tomando en cuenta los incalculables beneficios a la salud que aporta un aire más limpio. Es importante señalar que, cuando se le incluía un límite de emisiones al programa, comenzaba a hacer uso de la energía renovable en los primeros años del modelo para lograr la meta, por lo que

es necesario que se adopten las medidas de mitigación lo más pronto posible, siendo muy probable que México se vea obligado a reducir las emisiones en un futuro muy próximo.

7.4 Conclusiones y Recomendaciones

Con base a lo señalado por el modelo estocástico, la mejor opción para la Entidad, en cuanto a generación de energía es recurrir, lo más pronto posible a las energías renovables, para diversificar el parque y prepararse a las muy posibles restricciones de emisiones de contaminantes que a nivel País se pudieran incluir. Pero también es muy importante hacer un proyecto más ambicioso en cuanto la administración a nivel de la demanda (Demand Side Management) (Ramos Niembro, 2001); en México existen antecedentes de fraccionamientos populares construidos de acuerdo a las pautas bioclimáticas (Sección 2.3) (INE, 2006) en los que se han logrado ahorros medios de 40% de consumo de electricidad; también el subsidio a la instalación de módulos fotovoltaicos para la consumo doméstico individual ha probado aliviar las cargas del Sistema; en Mexicali se construyó un fraccionamiento completo de casas con celdas de 1KW instalado, lográndose ahorros del 50% en el consumo anual (Gobierno Baja California, 2007). En Baja California Sur la energía solar es abundante, teniendo una radiación media de 450 cal/cm²día, es importante, además, realizar un estudio sobre los precios reales de generación fotovoltaica en la Entidad. En otros sitios, como California y España el Gobierno subsidia la generación a partir de fuentes renovables (Varela, 2004). Una gran herramienta serían los financiamientos gubernamentales a la instalación de módulos solares fotovoltaicos domésticos, que si bien necesita un capital considerable en un principio, al fin de cuentas son los usuarios los que pagan, con comodidad, las instalaciones. Así se logra disminuir la el consumo y sobre todo, se alivian las cargas en horarios punta, que son las que determinan la instalación de plantas generadoras que sólo funcionan durante unas horas del día, con toda la inversión que se lleva.

8. Bibliografía

AWERBUCH, S., 2006, *portfolio based electricity generation planning: policy implication for renewables and energy security*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Springer.

BOAUZA-DEAÑO, R., Ternero-Rodríguez, M. y Fernández Espinosa, A., 2006, *Metodologías para la Evaluación de Tendencias de la Calidad de Aguas en el Contexto de la Directiva Marco de Aguas. Aplicación al Estudio del Río Ebro*. Universidad de Sevilla

BORJA, M., 2006, *Wind Energy: an opportunity for diversifying electricity generation in Mexico* Instituto de Investigaciones Eléctricas

CFE, División Baja California, Subgerencia Comercial, *Número de Usuarios Contratados por Tarifa, Mensuales, 2006 y 2007*, Información Proporcionada por el Organismo

CFE, Gerencia de contabilidad, 2007, *Costos de Generación por Tecnología, Pesos/KWh*

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2007, *Registros de la estación climatológica de La Paz*

COMISIÓN NACIONAL DE FOMENTO A LA VIVIENDA, 2006, *Uso eficiente de la energía en la vivienda*.

CONAPO proyección de población

De BUEN-RODRÍGUEZ y J. González-Martínez, 2001, *Energy Efficiency in the Northern Border States: Cooling Device Replacement*. Cap. Del Libro *Energy Issues Along the U.S. Mexican Border*

DE BUEN-RODRIGUEZ, O., 2007, *Tarifas Horarias para la Mediana Industria y el Uso Racional de la Energía Eléctrica, por publicar*

Dirección de Transmisión de la Comisión Federal de Electricidad Unidad La Paz, 2008: *Usuarios del Sistema Eléctrico de Baja California Sur 2006-2007*, Información no publicada

DRUK-GONZÁLEZ, J., 2000, *energía limpia para Baja California Sur*, Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2007, *International Energy Outlook*, EIA

FRANCO G. y A. Sanstad, 2008, *Climate change and electricity demand in California*, Climatic Change, Springer

FRIEDEL, W. y Neuman, W., 2004, *Sustainable Energy Planning with efficient office buildings and cogeneration plants in Frankfurt am Main*, Annals of the New York Academy of Sciences

FUNG W. et al, 2006, *impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong*, J. of Energy, Elsevier.

GERENCIA DE PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS, 2006, *retos para atender la demanda futura de electricidad*, Documento PDF de la CFE

GONZALEZ ÁVILA, M.E., et al, 2006, *Evaluación del impacto ambiental del sector eléctrico en el norte de México, evolución histórica e implicaciones para la sostenibilidad*, Economía, Sociedad y Territorio, vol VI, no. 21

GUPTA, K. P., 2006, *Energy Conservation by Demand Side Management, by Standardization and labeling*. Documento ejecutivo, Gujarat Electricity Regulatory Commission.

HIRIART, G., y Gutiérrez-Negrín, L., 2003 *Main Aspects of geothermal energy in Mexico*, Geothermics. Pergamon

HUACUZ, J., 2007, *Renewable Energy in Mexico: Current Status and Future Prospects*

HUG, F., Bader, H., Scheidegger, R. y Baccini, P., 2004, *A dynamic model to illustrate the development of an interregional energy household to a sustainable status*. Clean Technology Environmental Policy, Springer

Instituto Nacional de Ecología, 2006, *Reporte final de la valoración de las mejoras en eficiencia energética para viviendas de interés social en Torreón, Coahuila y Mexicali, Baja California*.

INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2005

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, 2003, Sistema de Extracción Rápida de Información Climatológica (ERIC), IMTA

IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, PNUMA, ONU.

JARAMILLO, O. A., Saldaña, R. y Miranda U., 2004, *Wind power potential of Baja California Sur, México*, Renewable Energy 29, Elsevier

KADIOGLU, M. y Saylan, L., 2000, *Trends of Growing Degree-Days in Turkey*. Water, Air and Soil Pollution. Kluwer Academic Publishers

KADIOGLU, M., Sen, Z. y Gültekin, L., 2002, *Variations and Trends in Turkish Seasonal Heating and Cooling Degree-Days* Climatic Change

MEDINA-ROSS, J. A., J. Mata-Sandoval y Roberto López-Perez, 2005, *Indicators for sustainable energy development in Mexico* Natural Resources Forum

MIRZA, M., 2004, *The impacts of climate change on the energy sector*. Environment Canada, Adaptation and Impact Research Division.

MILLER P., y Van Atten, C., 2004, *North American Power Plant Emissions*, Comisión para la Cooperación Ambiental de Norteamérica.

MORILLÓN, D., 1999, *Normas Mexicanas para la eficiencia energética en edificaciones: diseño térmico de la envolvente*; Memorias de la Conferencia Internacional sobre confort térmico de edificaciones, Venezuela, Universidad de Zula.

- OKE, T., 1978, *Boundary Layer Climate*, Mathuen & Co. Ltd, New York
- ÖNÖZ, B. y Bayazit M. 2003 *The power of Statistical Tests for Trend Detection* Turkish J. Eng. Env. Sci. Tübitak
- OTTINGER, R., 2006, *Energy Efficiency: the best immediate option for a secure, clean, healthy future*, Natural Resources Forum, Blackwell
- PAPADAKI, M., Tsoutsous T., Maria, E. y Antonidakis E., 2003 *A multicriteria decisión making methodology for sustainable energy development*, Fresenius Environmental Bulletin, Fresenius
- PAVAN, M., 2008, *new policy schemes to promote end-use energy efficiency in the European Union*, Sustainable Development and Environmental Management, Experiences and Case Studies, Springer
- PEMEX, 2006, *Reservas de Hidrocarburos al 31 de Diciembre de 2006*
- PORTUGAL, E., Birkle, P., Barragán, R.M., Arellano, G., Tello, E., Tello, M., 2000, *Hydrochemical-isotopic and hydrogeological conceptual model of the Las Tres Vírgenes geothermal field, Baja California Sur, México*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 101, Elsevier
- RAFAJ, P., Barreto, L. y Kypreos, S., 2006, *Combining policy instruments for sustainable energy systems, an assessment with the GMM model*, Environmental Modelling and Assessment, Springer
- RAMIREZ, J.M. y Torres, E., 2006, *Generación limpia de energía eléctrica*, Boletín CINVESTAV
- RAMOS-NIEMBRO, G. et al, 2001, *Computer system for energy diagnoses in residential customers*, Energy Policy, Elsevier

- RAMOS-NIEMBRO, G., C. Heard y F. Hernández-Pensado, 1999, *Estudios para la elaboración de normas de Eficiencia Energética en edificaciones*, Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas
- SECRETARIA DE ENERGÍA 2007, Resolución por la que se aprueba el Modelo de Contrato de Interconexión para fuente de Energía Solar en Pequeña Escala. Diario Oficial de la Federación
- SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2006, Balance Nacional de Energía. Secretaría de Energía
- SENER, 2004, *Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-020-SENER*
- SHEINBAUM, C. y Masera, O., 2000, *Mitigating Carbon emissions while advancing national development priorities: the case of México*, Climatic Change 47, Kluwer
- SLINGERLAND S. y L. van Geuns, 2005, *Drivers for an international biofuels market*. Clingendael International Energy Programme
- VIJAY, S., L. Molina y M. Molina, 2004, *Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano*, Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution
- WEISS, J. y J. Overpeck, 2005, *is the Sonoran desert losing its cool?* Global Change Biology
- WILHITE, H., Shove, E., Lutzenheizer, L. y Kempton, W. 2000, *The legacy of twenty years of energy management: we know more about Individual Behavior but next to nothing about demand*, Society, Behavior and Climate Change Mitigation, Kluwer Academic
- www.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Historico.aspx ventas de energía por tarifas
- www.solver.com página web del programa Solver Premium Platform
- ZELLER, F., 2004, *Desafíos internacionales en la competitividad de la eficiencia energética en la edificación*, Foro Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación