



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CAMBIO CLIMÁTICO, CENIT DEL PETRÓLEO Y
DESREGULACIÓN DE LA ELECTRICIDAD; IMPLI-
CACIONES SOBRE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A :

MARIANA ASTRID GONZÁLEZ PACHECO

DIRECTOR DE TESIS: DR. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA



CIUDAD UNIVERSITARIA 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mi familia

Agradecimientos

Este trabajo está dedicado a mis papás a quienes agradezco infinitamente el cariño que siempre me brindan, sus regaños, sus consejos y su apoyo para todo lo que hago incluso si es ir a la montaña, por darme la oportunidad de terminar una carrera y más aún por permitirme compartirla con ustedes.

A la UNAM por permitirme pensar y cuestionar mis ideas de mil formas diferentes, por la diversidad de los alumnos y profesores que enriquecen nuestros pensamientos y por ser el lugar que alberga los mejores recuerdos de mi vida.

Al Dr. Victor Rodríguez por asesorarme en la elaboración de esta tesis y por una de las mejores clases que recibí en la Facultad (Introducción a los Sistemas Energéticos) o por lo menos una que resultó bastante inspiradora y que aclaró mis dudas sobre qué camino seguir. A la Dra. Cecilia Martín del Campo y Mtra. Tanya Moreno por ser un ejemplo de lo que las mujeres ingenieras pueden llegar a ser. A mis sinodales Ing. Jacinto Viqueira y Dr. Arturo Reinking por su gran colaboración en la elaboración de este trabajo.

A mis hermanas Marisol y Mariel por confiar en mí, acompañarme en las noches de desvelo, en los días de películas y soñar despiertas conmigo, recuerden “Someday.....”.

A mi abuelita Bety y a el abuelo Meno porque son los pilares de mi familia y el ejemplo más claro de trabajo y esfuerzo gracias al cual he tenido la oportunidad de estar donde estoy.

A mi comadrita Mónica con quien envejeceré y por ser más que mi prima, mi hermana; a mis hermanitos y hermanitas Laurita, Lupita, Liz y Joel, Kathia, Karen, Pepe, Héctor, Abi, América, Abi, Ani y Alejandro, Paris, Wendy y Fer, Fanny, Mari, Dona y Fer por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida y por quererme tanto.

A mis padrinos, tía Laura, tío Armando, tía Lulú, tío, Tacho, tía Irma, tío Tino, tía Alicia, tío Lázaro, tía Liz, tío Raúl , tío Fer y tío Armando por hacer de nuestra familia la familia más bonita y unida.

A Julio, Abril, Selene, Shigeru, Sergio y Rogelio por compartir una de las mejores épocas de mi vida en la Prepa 2, por estar ahí soportándome a pesar de los años.

A Mónica, Rafa, Patsy, Beto y Celeste por aguantar vivir conmigo 6 meses y por las buenas fiestas que tuvimos en la montaña.

A mis amigos Kenjis (Kenji, Fercho, Armi y Kino), Antillanos (Hugo, Reali, Hiram, Velaz , Mau, Rafa y Cheko), Güeros (Memo, Josué), Bonitos (Viveros, Pam, Nando, Eros, Arturito y César), Shaq’s (Josymar, Lucely, Dalai y Beto), Quike y Abraham por las noches de proyectos en casa de Hugo, los desayunos en Diseño, las fiestas Shaq’s, Tardes en casa de Quike, fiestas de Kenji, Ferchofiestas, salidas al centro, exámenes reprobados y aprobados y sobre todo por siempre brindarme su amistad. A Jorge por enseñarme otra manera de ver la vida y ayudarme en mis empresas políticas. A Ricardo por ser el geógrafo más interesante y un excelente amigo. A Quiroz por ser quien más me escucha, por ser como mi clon y por ser mi mejor amigo.

No sería quien soy ahora sino fuera por ustedes y por lo que significan para mí. Ciertamente la vida no me alcance para agradecerles lo importantes que son y lo mucho que los quiero y admiro a todos.

Índice

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1. CAMBIO CLIMÁTICO	9
1.1 Definición y causas del cambio climático	9
1.2 Consecuencias del cambio climático	11
1.3 Medidas para prevenir los efectos del cambio climático	13
<i>1.3.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC)</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2 Protocolo de Kyoto</i>	<i>15</i>
<i>1.3.3 Mecanismos de acción</i>	<i>16</i>
1.4 Alternativas para la reducción de emisiones	19
1.5 Conclusiones	22
CAPÍTULO 2. CENIT DEL PETRÓLEO	25
2.1 Definición de pico de petróleo	25
2.2 Volatilidad de los precios del petróleo	29
2.3 Alternativas para la sustitución del petróleo en el sector transporte	33
2.4 Conclusiones	35
CAPÍTULO 3. LIBERALIZACIÓN DE LA ELECTRICIDAD	38
3.1 Electricidad o industria eléctrica	38
3.2 Modelos organizativos de la industria eléctrica	39
3.3 Reestructuración de la industria eléctrica	42
3.4 Mercados eléctricos con problemas	45
3.5 Reacciones y ajustes	48
3.6 Conclusiones	50
CAPÍTULO 4. IMPLICACIONES DE LAS CRISIS SOBRE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA	52
4.1 Conclusiones generales	58

ANEXO 1. ENERGÍAS ALTERNATIVAS	61
ANEXO 2. MEJOR ENERGÍA ALTERNATIVA	65
Bibliografía	77

Índice de figuras

Figura 1. Cuarto Reporte del Panel Intergubernamental para el cambio Climático 2007	10
Figura 2. Consecuencias Cambio Climático	12
Figura 3. Mecanismos de Acción-Protocolo de Kyoto	17
Figura 4. Tabla de emisiones de CO ₂ por país. Fuente: World Carbon Emissions 2009	20
Figura 6. Consecuencias cenit del petróleo	30
Figura 7. Actividades de la industria eléctrica	38
Figura 8. Modelo de monopolio	40
Figura 9. Modelo de monopsonio	41
Figura 10. Modelo de competencia mayorista y minorista	42
Figura 11. Modelo de libertad de elección para todos los consumidores	42
Figura 12. Esquema del método AHP	66

Índice de Tablas

Tabla 1. Consecuencias del cenit del petróleo	31
Tabla 2. S&P GSCI™ Components and Dollar Weights (%) (May 12, 2009)	32
Tabla 3. Ventajas y desventajas energías alternativas del petróleo	33
Tabla 4. Consecuencias de las crisis	52
Tabla 5. Consecuencias de la interrelación de las crisis	53
Tabla 6. Ventajas y desventajas por tipo de tecnología	62
Tabla 7. Esquematización de problemática	65
Tabla 8. Costo de Generación por Tecnología	66
Tabla 9. Fracción importada. Precios medios 2007	67
Tabla 10. Externalidades	68
Tabla 11. Factor de planta	68
Tabla 12. Valores de comparación	69

I N T R O D U C C I Ó N

La energía es motor que mueve las industrias y la economía de las naciones, base sobre la que se sustenta el desarrollo en la actualidad. Su utilización en la vida cotidiana es tal que ha llegado a convertirse en una necesidad básica para casi cualquier actividad. Extendiendo su uso desde el hogar hasta complicadas aplicaciones en la industria, abarcando sectores como la educación, la medicina y las comunicaciones.

Las aplicaciones de energía en la industria, el transporte y los alimentos son las que generan mayor consumo de energía. Cuando hablamos de energía en la industria, hacemos referencia particularmente al uso de la electricidad y de combustibles fósiles, electricidad que es utilizada en los procesos productivos y/o para la iluminación de oficinas e instalaciones; y combustibles fósiles utilizados para el calentamiento de hornos y calderas. En el caso de la energía en el transporte el petróleo es el combustible de mayor relevancia al ser la utilización de sus derivados (gasolinas y diesel) los que presentan las mayores ventajas en cuanto a costo y rendimiento, y aunque existe una creciente tendencia hacia vehículos que utilizan biocombustibles y fuentes alternativas (hidrógeno y electricidad), las características de la gasolina y el diesel siguen siendo incomparables. En el sector alimenticio se conjuntan la electricidad para la elaboración de productos procesados, el desarrollo de productos para el campo (fertilizantes, etc) basados en derivados de petróleo y el transporte que implica el uso de gasolinas y diesel.

De lo anterior se concluye que sin electricidad y sin combustibles fósiles no hay desarrollo. Aquí es entonces donde el Estado y la correcta planeación y diseño de estrategias en materia energética juegan un papel fundamental.

Específicamente la política energética es la rama que busca asegurar el suministro de energéticos de manera eficiente, continua, equitativa y sustentable. Este aseguramiento de suministro es lo que conocemos como seguridad energética.

Actualmente existen tres crisis que pueden poner en peligro esta seguridad energética:

- el cambio climático
- el cenit del petróleo
- la desregulación de la electricidad

El cambio climático es un problema ambiental y geográfico cuyas repercusiones no sólo se reflejan en la geografía y clima de la tierra sino también en la economía y en la política y que significan un cambio en las formas de generación de energía. Este cambio se ha atribuido principalmente al uso desmedido de los combustibles fósiles y las emisiones de gases contaminantes a

la atmósfera como resultado de la combustión. Las consideraciones para disminuir los efectos de esta crisis radican en la reducción de las emisiones de CO₂ que la quema de estos combustibles provoca, a través de la ejecución de programas pro ambientales que incentiven el uso de energías alternativas.

La segunda crisis (cenit del petróleo) es la transición a nuevos combustibles y formas de generación eléctrica por la decreciente curva de producción del petróleo que amenaza las actividades de países desarrollados y subdesarrollados. Este cambio nos enfrentará a completos cambios en nuestra forma de vida y en la manera en que funcionan nuestras sociedades.

Por último está la desregulación eléctrica cuya implantación, según se ha visto en otros países, impediría una planeación e implementación adecuada de recursos para satisfacer la demanda eléctrica.

El objetivo general de este trabajo es analizar la interrelación de estas crisis y su implicación sobre la seguridad de abasto energético en un contexto global. Para poder establecer las sinergias que mitiguen sus efectos.

Nuestra hipótesis sugiere que son crisis interconectadas cuyas soluciones tendrán que ser planteadas en un marco de cooperación internacional política y económica de manera sinérgica, donde la planeación y el adecuado análisis de las consecuencias garantizará el suministro global de energía a largo plazo.

El proyecto se divide en cuatro capítulos, en cuyos primeros tres se hablará sobre las crisis previamente mencionadas, sus definiciones, consecuencias y posibles acciones de mitigación.

En el último capítulo se analizarán las interacciones de estas crisis y su influencia sobre la seguridad energética. En esta parte se presentan cuatro posibles escenarios: cambio climático-cenit del petróleo, cenit del petróleo-desregulación de la electricidad, cambio climático-desregulación de la electricidad y cambio climático-cenit del petróleo-desregulación de la electricidad.

Capítulo 1. Cambio Climático

CAPÍTULO 1 CAMBIO CLIMÁTICO

El estudio e investigación sobre el cambio climático ha tomado mayor importancia en los últimos años tras una serie de documentales y conferencias en las que se expusieron las posibles consecuencias de este fenómeno, ocasionando tanto un estado de alarma en la población y en los gobiernos alrededor del globo por los efectos de éste, como una invitación a la reflexión sobre la manera en cómo el hombre afecta su entorno y la necesidad de analizar y actuar ante la evidencia que sugiere que la rapidez de este cambio se debe a emisiones de origen antropogénico.

Si nos remitimos exclusivamente al nombre podríamos pensar que es un problema que afecta únicamente las condiciones meteorológicas y del estado del tiempo, no obstante las consecuencias de este cambio son profundas e implican soluciones de orden político, económico y social, donde la clave para la resolución de esta crisis es la cooperación internacional puesto que es un problema que afecta tanto a países industrializados como subdesarrollados, siendo estos últimos los que enfrentarán mayor dificultad a la adaptación de las medidas por falta de recursos y tecnología.

1.1 Definición y causas del cambio climático

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático firmada en 1992 el cambio climático se define como:

“...un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

En esta definición se señala al hombre como principal causa del cambio climático, esto es debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO₂, a la atmósfera que en su mayoría son originados por la actividad industrial.

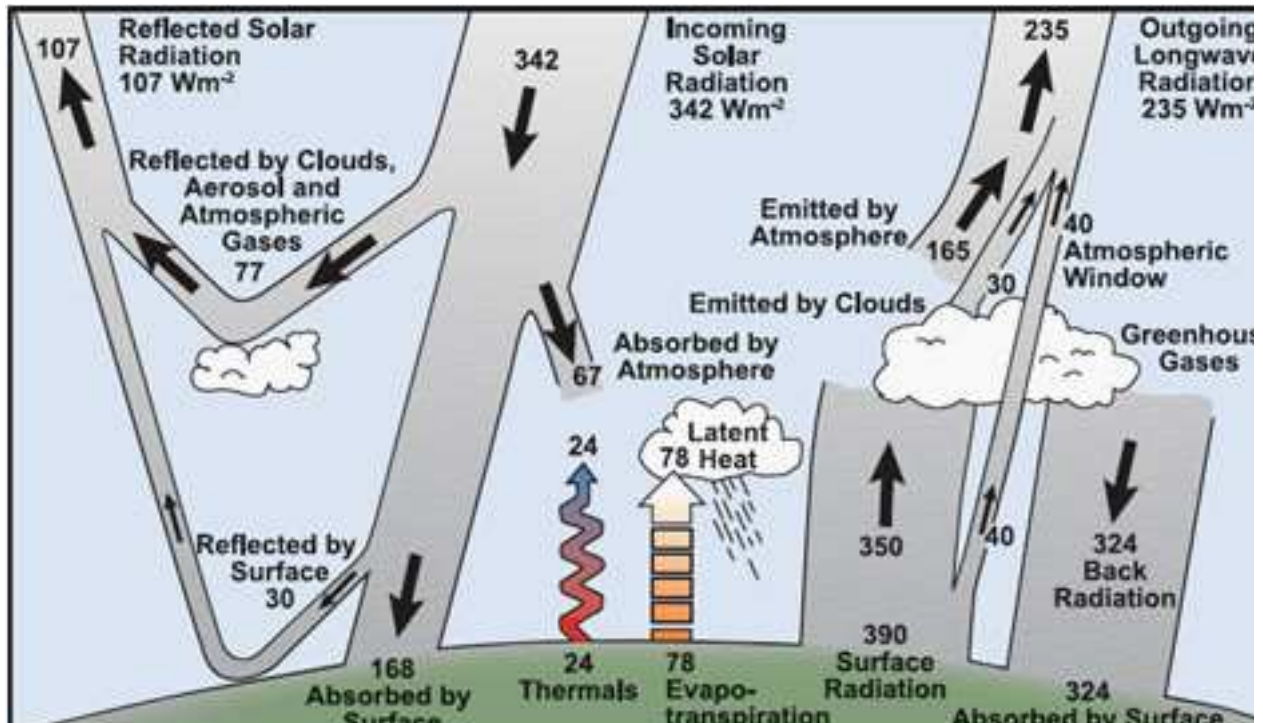


Figura 1. Cuarto Reporte del Panel Intergubernamental para el cambio Climático 2007

En la Figura 1 se observa un balance de energía de las radiaciones provenientes del sol, como se ve en esta ilustración la mitad de las radiaciones recibidas es absorbida por la superficie terrestre y la atmósfera mientras que otra parte se refleja y se disipa en el universo. La temperatura terrestre es entonces producto de la energía que irradia el sol y que es absorbida por nubes y gases en la atmósfera, dentro de los que se encuentran los GEI. Si incrementamos la cantidad de GEI, tendremos por consiguiente una mayor absorción, esto significa que las radiaciones que tenían que ser reflejadas permanecen en la atmósfera ocasionando un aumento de la temperatura global.

¿Cómo es que se han incrementado las emisiones de estos gases? De acuerdo a estudios realizados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), estas emisiones son producto de la era industrial, de la explotación desmedida de los combustibles fósiles y de la deforestación de bosques, donde la participación humana juega un papel fundamental. Según el cuarto informe del IPCC (2008), la concentración de GHG en la atmósfera es equivalente a 430 partes por millón (ppm) de CO₂ que es casi 50% más de lo que se tenía antes de la Revolución Industrial (280 ppm).

Para comprobar si el hombre ha influido verdaderamente en la emisión de estos gases a la atmósfera, se realizaron una serie de análisis en las regiones polares de Groenlandia y la Antártica, donde se comparó la composición del aire encerrado en burbujas en bases de hielo que datan de más de 200 años. Estos mostraron un incremento exponencial en la concentración de gases durante la era industrial y en lo sucesivo, además de encontrarse que algunos compuestos del carbono como son los Halocarbonos (hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), etc), exceptuando al perfluorometano que ha estado en la atmósfera desde tiempos remotos, son de origen antropogénico, es decir aparecieron como consecuencia del hombre.

1.2 Consecuencias del cambio climático

La primera consecuencia del aumento de la generación de gases de origen antropogénico es el aumento en la temperatura global, del que se desprenden más y mayores consecuencias como por ejemplo: el derretimiento de los polos, la extinción de especies animales y vegetales, daños a la salud, etc. Ver Figura 2

El derretimiento de los polos como consecuencia, implica la elevación del nivel del mar. Se calcula que para el año 2100 el nivel del mar subirá de 9 a 88 cm¹⁴. Esta elevación en 20 o 30 años produciría una disminución de terreno pues estaría ocupado por el agua derretida, lo que provocaría tanto la desaparición de algunas islas y países cuya altura se encuentra por debajo del mar como son las Islas Maldivas y los Países Bajos, como desplazamientos poblacionales hacia lugares con mayor altura ocasionando conflictos violentos por la migración.

Los efectos sobre el clima también se ven reflejados en el agua ya que existen cambios en los patrones de precipitación que ocasionan lluvias excesivas en lugares donde no existían y sequías extremas y más prolongadas en las regiones áridas y semiáridas, de aquí una posible falta de alimentos por cambios en la producción agrícola de temporal.

Si además de esto se considera el nuevo desarrollo de tecnologías para biocombustibles tales como el etanol, producido a base de semillas de maíz, nos enfrentamos a la posibilidad de que los productores de alimentos se inclinen a mercados para la producción de este tipo de com-

14 http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/items/3336.php

bustibles por su alta rentabilidad, dejando una crisis alimenticia difícil de subsanar.



Figura 2. Consecuencias Cambio Climático

Dos de las consecuencias más importantes del cambio climático son: la falta de suministro de energéticos debida a la dificultad de conseguir minerales que por su localización y debido al incremento de las condiciones adversas climatológicas pudieran resultar inaccesibles, y los daños en las líneas de transmisión causadas por fenómenos naturales. Estas consecuencias serán mejor discutidas en el capítulo 4 por ser secuelas que afectan directamente la seguridad energética.

A continuación se enlistan algunos impactos del cambio climático:

Impactos del cambio climático

- Intensas sequías y de mayor duración
- Aumento de precipitaciones, inundaciones

- Incremento del nivel del mar debido al aumento de temperatura
- Baja producción de alimentos, debido a la falta de disponibilidad de agua para la agricultura
- Enfermedades en trópicos y subtrópicos relacionadas con el agua, incidencia de malaria, dengue, paludismo, diarrea.
- Amenaza a la existencia de islas y naciones que están a pocos metros sobre el nivel del mar actual.
- Desplazamientos poblacionales derivados del incremento del nivel del mar (Migración)
- Extinción de especies y pérdida de la biodiversidad
- Daño a los ecosistemas
- Poco acceso a minerales estratégicos debido al hielo y a las tormentas, ocasionando la falta de suministro de combustibles fósiles que se obtienen de los yacimientos costa fuera.
- Daños en líneas de transmisión
- Daños a la salud por contaminación de aire y agua
- Dificultades en la generación de electricidad con medios renovables

1.3 Medidas para prevenir los efectos del cambio climático

- A fin de prever con más exactitud los posibles efectos del cambio climático, se están mejorando los modelos de predicción climática. Al hacer esto, se tiene mayor entendimiento de lo que está ocurriendo y es posible implementar medidas de mitigación de los impactos del cambio climático basados en escenarios lógicos y lo más realistas posibles.
- Establecer planes de contingencia en caso de epidemias y enfermedades y respuestas flexibles a los problemas de migración y falta de alimentos.
- Pensar en la utilización de energías alternativas que sustituyan a los combustibles fósiles para evitar con esto la emisión de gases GEI al medio ambiente.
- Identificar los puntos frágiles en los sistemas políticos y económicos y trabajar en políticas de

reestructuración que los fortalezcan.

Entre estas acciones intergubernamentales contra el Cambio Climático se encuentran:

- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático UNFCCC
- Protocolo de Kyoto

1.3.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC)

Esta Convención entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Existen actualmente 192 países ratificados.

En esta Convención se hizo una clasificación de países de acuerdo a sus compromisos para responder y actuar en contra del Cambio Climático.

Los países desarrollados corresponden al Anexo I y son los países comprometidos a cumplir los objetivos del Protocolo puesto que son los que generan el mayor porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global.

Los países en desarrollo son los llamados No Anexo I o Anexo 2, estos países juegan un papel más sencillo dado sus condiciones económicas pero no menos importante ya que son éstos los que pueden implementar y desarrollar proyectos para la disminución de GEI de efecto directo y colaborar con las metas señaladas de los países ratificados. Para este fin se elaboran inventarios que señalan el tipo de gas con el que se contribuye y el país al que se le atribuye su emisión, a estas relaciones se les conoce como inventarios de emisiones.

El Periodo de compromiso de la Convención comprende del 2008 al 2012, periodo en el cual se intenta disminuir 5% la emisión de GEI respecto a los parámetros que se tenían de los mismos en 1990.

Además tiene como objetivos:

- La estabilización de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
- Compartir información sobre gases de efecto invernadero, políticas nacionales y mejores prácticas.
- Crear estrategias para adaptarse a los impactos además de impulsar el desarrollo tecnológico en países en vías de desarrollo (no industrializados).
- Cooperación en la adaptación de los impactos del cambio climático.

De los asuntos revisados y tratados en esta Convención se derivaron el Protocolo de Kyoto y Planes de Acción como el de Bali donde se negociaron las medidas de cooperación a largo plazo.

1.3.2 Protocolo de Kyoto

En el Protocolo se establecen compromisos de reducción cuantitativos de emisiones, este protocolo tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible y contemplar políticas y medidas sobre las emisiones antropogénicas agregadas que no se mencionan en el Protocolo de Montreal aprobado en Montreal el 16 de septiembre de 1987.

Dentro de los compromisos del Protocolo se encuentran¹⁵ :

- Limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos así como en la producción, el transporte y la distribución de la energía.
- Fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal.
- Medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los GHG no controlados en el Protocolo de Montreal en el sector de transporte.

15 Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

- Reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado.
- Promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático.
- Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional.
- Protección y mejora de los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal.
- Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del CO₂ y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.

El periodo de compromiso de este protocolo comprende también 5 años, 2008-2012. Entró en vigor el 16 de enero de 2005 siendo ratificado por 141 países de la UNFCCC.

1.3.3 Mecanismos de acción

En el Protocolo de Kyoto se establecieron los tres mecanismos de acción que actualmente son utilizados para la reducir las emisiones de GEI.

- Aplicación conjunta
- Mecanismos de Desarrollo Limpio
- Comercio de derechos de emisión

PROTOCOLO DE KYOTO MECANISMOS DE ACCIÓN

MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO	MERCADOS DE CARBONO	APLICACIÓN CONJUNTA
<ul style="list-style-type: none"> ● Países menos desarrollados ● Países del No Anexo 1 ● Proyectos conjuntos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Créditos ● Ojetivos de emisión ● Financiamiento de proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuantificar emisiones de GEI equivalente en CO2 ● Valor Monetario

Figura 3. Mecanismos de Acción-Protocolo de Kyoto

Aplicación Conjunta

Es un programa que tiene como objetivo reducir las emisiones de países industrializados mediante el financiamiento de proyectos que cumplan con este fin.

Según este mecanismo, los gobiernos patrocinadores recibirán créditos que podrán aplicar a sus objetivos de emisión; las naciones receptoras obtendrán inversión extranjera y tecnología avanzada (pero no créditos para conseguir sus propios objetivos de emisión; deben hacerlo ellos mismos).¹⁶

Mecanismo de Desarrollo Limpio

El propósito de este mecanismo es el de reducir las emisiones de los países industrializados a través de proyectos conjuntos con países del No Anexo I, en donde los proyectos desarrollados por los países no industrializados contribuyen al cumplimiento de los compromisos de los países desarrollados. Estos proyectos son financiados por los países del Anexo I.

¹⁶ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas (2007). Aplicación conjunta. http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/feeling_the_heat/items/3321.php

Comercio de Derechos de emisión - Mercados de carbono

Para concientizar y responsabilizar a los países en la reducción de sus emisiones, se crearon los mercados de carbono cuya función es similar a la de la Bolsa de Valores.

En los mercados de carbono se asigna un valor monetario a las unidades equivalentes de emisión de carbono o llamadas bonos de carbono, que expresan en términos de una tonelada de CO₂, las emisiones de metano y demás gases de efecto invernadero.

En el Protocolo de Kyoto se establecieron compromisos por país de acuerdo a los inventarios nacionales de cada uno, donde se determinó la cantidad de emisiones equivalentes de CO₂ a reducir. Según su forma de mitigación se agruparon en 4 categorías:

Unidades de Reducción de Emisiones (ERU's). Reducción de unidades contaminantes debido al desarrollo de un proyecto del Mecanismo de Aplicación Conjunta.

Unidades de Remoción de Emisiones (RMU's). Aplicables exclusivamente a países del Anexo 1. Corresponden a la reducción de unidades por proyectos de Aplicación Conjunta y/o por Compra-venta de bonos (mercado Spot, contratos, contrato de opciones).

Montos Asignados Anualmente (AAU's). De acuerdo a los compromisos contraídos en el Protocolo de Kyoto y con base en los inventarios de GEI por país, se asigna una cantidad de emisiones a disminuir en un periodo determinado (en el caso del Protocolo de Kyoto es hasta el 2012) a cada país. Éste a su vez divide y fija un límite de emisión a sus empresas respectivamente.

Certificados de Reducción de Emisiones (CER's). Sólo son aplicables para países del Anexo 1. Son resultado de la reducción de emisiones en proyectos que actúen bajo los Mecanismos de Desarrollo Limpio.

Con este sistema se penaliza a los países más contaminantes y se recompensa a los menos.

El precio de una tonelada de CO₂ equivalente en el 2009 fue de \$11 dólares según la European Climate Exchange¹⁷.

1.4 Alternativas para la reducción de emisiones

En el apartado anterior se mencionaron las acciones intergubernamentales y los planes y protocolos que actualmente buscan soluciones para evitar un violento cambio climático, las soluciones que se proponen en las alternativas para la reducción de emisiones son más concretas:

La reforestación de selvas y bosques, es decir la creación de sumideros para la absorción de GHG de la atmósfera, son la alternativa que tenemos más al alcance de la mano. Esta alternativa además tiene la ventaja de representar los costos más bajos para su implementación y representar beneficios sólo en la prevención del calentamiento global sino también para la conservación de hábitats y ecosistemas.

La innovación tecnológica y la diversificación de las fuentes de energía, así como el uso de energías alternativas limpias son mecanismos eficaces en el combate al cambio climático. Es aquí se deben conjuntar esfuerzos y desarrollarse proyectos certificados que además de ayudar a la disminución de GHG, contribuya al desarrollo sustentable de países en vías de industrialización.

La capacidad de adaptación de los países al cambio climático es fundamental, esta adaptación en países poco desarrollados depende también de la interacción con países industrializados en la búsqueda de alternativas tecnológicas y económicas para un crecimiento unificado. Las estrategias que se deben plantear deben estar basadas en las condiciones políticas, económicas, sociales y geográficas de cada país y deben ser medibles y verificables.

Es importante hacer énfasis en el papel de la educación sobre la adaptación y amortiguación del cambio climático, en la medida que entendamos que el desmedido uso de combustibles fósiles y los hábitos de derroche de recursos naturales causan problemas en nuestro entorno que nos afectan directamente, entenderemos la importancia de cuidarlo y de tomar las medidas para contrarrestar los efectos de lo que estamos viviendo hoy como es el cambio climático. Lo que

17 <http://www.ecx.eu/>

debemos hacer en materia de educación es mostrar las consecuencias del cambio climático y las medidas de adaptación que debemos tomar para lidiar con él.

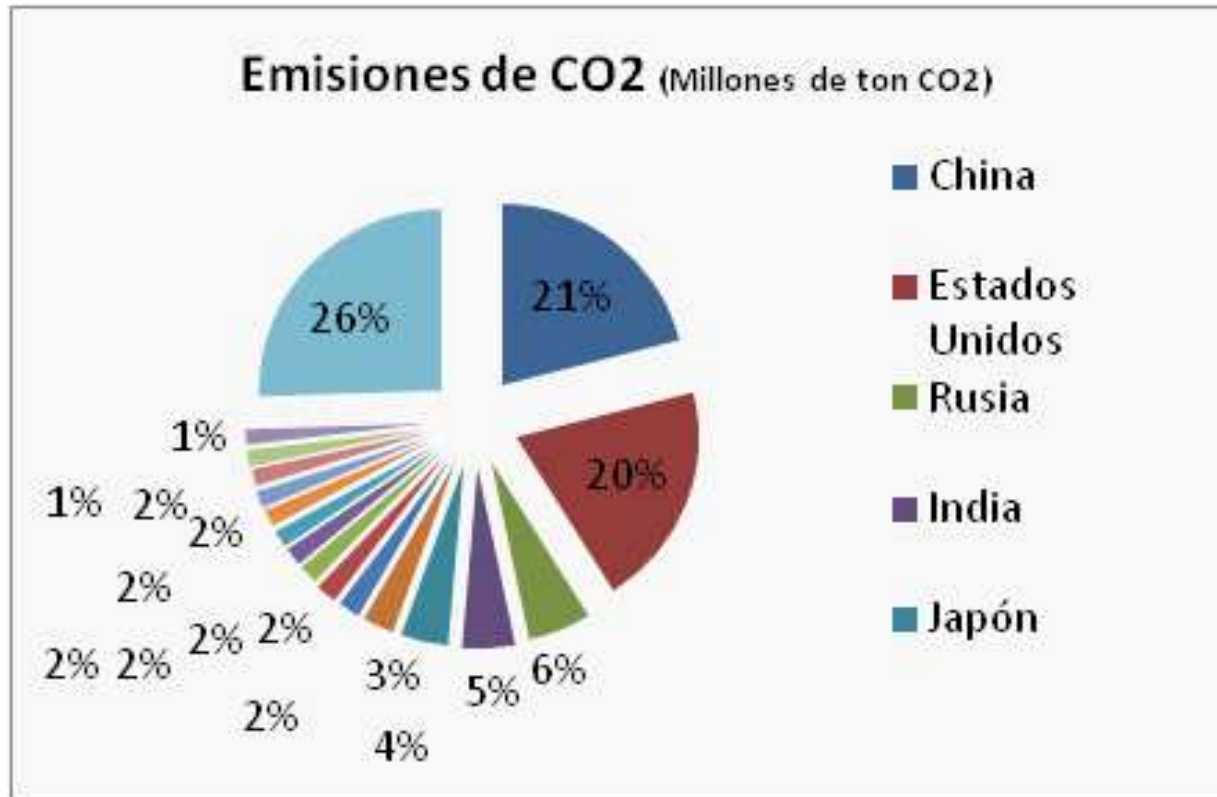


Figura 4. Tabla de emisiones de CO₂ por país. Fuente: World Carbon Emissions 2009

Como vimos anteriormente y como se muestra en la figura 4, la mayor parte de emisiones de gases de efecto invernadero es producida por los países con las economías más fuertes del mundo (China 21% de la emisión de CO₂ global, seguido Estados Unidos que emite 20%), ellos contribuyen en mayor grado a la emisión de GEI pero no son los que más recibirán los efectos del cambio climático pues tienen las bases tecnológicas y económicas para prevenirlas y mitigarlas hasta cierto punto.

El caso de los países de economías en desarrollo es distinto, estos no tienen los elementos necesarios para combatir estos efectos, no obstante sus desventajas geográficas incrementan la

propensión a desastres naturales que sin planes de acción tendrán desenlaces desafortunados. Estos países necesitan acceso a recursos que permitan un desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza e inequidad social, cuestión que sólo se podrá lograr con la ayuda de los países desarrollados y con la transferencia de tecnología para proyectos de beneficio mutuo.

Para garantizar la mitigación de los efectos del cambio climático es necesario plantear políticas basadas en todos los sectores económicos que además de ser integrales, deben relacionarse o estar sintonizados con los recursos y características de los países.

Los puntos clave para los países en vías de industrialización son que por su misma condición de falta de tecnología pueden ser más fácilmente encaminados a utilizar las energías limpias desde su inicio, caso contrario a los países desarrollados cuya economía descansa en industrias firmemente asentadas en el uso de combustibles fósiles y de técnicas que dañan al ambiente. Si nos preguntamos cómo afectan estos hechos los mercados financieros, la respuesta es simple por un lado la falta de alimentos, agua y energía ocasiona especulaciones en precios y poca seguridad en estos elementos, por otro lado las consecuencias del cambio climático y sus manifestaciones en forma de desastres naturales ocasionarían costos de seguros elevados.

Según el reporte Stern (2006) sobre Economía del Cambio Climático la reducción de emisiones costará alrededor de 1% del PIB global anual para el año 2050, lo que debemos hacer entonces es proponer soluciones que reduzcan estos montos.

Para corregir estos elevados precios el sector privado juega un papel fundamental en la estabilización de GEI ya que está enfocado o es el que más se enfoca al desarrollo de tecnologías basadas en otras fuentes alternativas a los combustibles fósiles.

1.5 Conclusiones

El desarrollo de políticas que incentiven la creación e innovación de nuevas tecnologías derivará en efectos positivos tanto al medio ambiente como financieros. El reto es el de tener tecnologías eficientes y baratas que aporten los mismos beneficios que los combustibles fósiles, así como de abrir un mercado de productos que utilicen estas nuevas formas de energía.

Las dificultades a las que nos enfrentaremos serán la necesidad de tener estas innovaciones tecnológicas a escalas suficientemente grandes para que sean rentables en comparación a las de los hidrocarburos.

Cambiar un mundo regido por hidrocarburos a nuevas fuentes de energía es también un rol que el gobierno debe asumir, en este caso políticas de aplicación de impuestos para industrias contaminantes es una opción que además de responsabilizar a las industrias por el daño al medio que ocasionan podría ser un punto de atracción a inversionistas que desarrollen energías poco contaminantes.

Algunos países desarrollados en Europa y América del Norte están teniendo conciencia de la importancia de cuidar el ambiente y de que es con la utilización de energías renovables con que más se puede contribuir, es por esta razón que se pagan cuotas más altas en la electricidad que se genera de estas fuentes, sin embargo es importante señalar que estos países tienen una calidad de vida mejor que la de los países en vías de desarrollo, de esta afirmación podemos añadir que no obstante la innovación tecnológica es la piedra angular para la mitigación, los precios en los combustibles no pueden ser cubiertos por consumidores en países no industrializados ya que no se poseen los recursos para enfrentar los altos precios que las nuevas tecnologías representan.

Se necesitaría un periodo de estabilización para introducir a estos países energías ya probadas cuyos precios sean razonables.

Es conveniente también considerar las políticas de ahorro de energía, pues estas involucran ahorros monetarios; el uso de ciclos combinados y de sistemas de cogeneración, por el incremento

de eficiencia que la implantación de este tipo de sistemas significa.

Los precios en los mercados de carbón, las políticas de incentivo de tecnologías alternativas son requisitos para la reducción de emisiones.

El éxito radica en la adaptación y la flexibilidad y dinamismo en la creación de políticas.

Capítulo 2.

Cenit del petróleo

C A P Í T U L O 2 C E N I T D E L P E T R Ó L E O

El petróleo es el combustible fósil de mayor importancia destinado al consumo de energía mundial, a menudo creemos que su utilización se delimita a aplicaciones como el transporte y a los complejos petroquímicos para la obtención de derivados plásticos, sin embargo es necesario exaltar la importancia del petróleo no sólo para los sectores de transporte e industrial, sino también en los sectores residencial, comercial, de agricultura y para la generación de electricidad, de ahí la necesidad de administrar los recursos que nos quedan de manera que podamos seguir utilizándolo lo más posible, de desarrollar tecnologías que nos faciliten la obtención de petróleo y de establecer los planes o mecanismos que nos permitan, llegado el momento de agotamiento de recursos, hacer una fácil transición a nuevas formas tanto de combustibles como de energía para la generación eléctrica.

2.1 Definición de pico de petróleo

El pico del petróleo es el punto máximo de producción mundial de petróleo, debemos aclarar que hablamos de producción de petróleo no de consumo ni del agotamiento total de reservas. Para aclarar más este concepto, pensemos en una curva de producción semejante a una curva de Gauss, evidentemente y dado que el petróleo es un recurso no renovable habrá un momento en donde mundialmente se esté produciendo petróleo en su máxima capacidad y con el máximo de los recursos, eso es exactamente el pico del petróleo, lo que viene después de este punto es un periodo de escasez de recursos que se prolonga hasta el completo agotamiento de los mismos.

El primero en plantear este concepto fue el geofísico inglés M. King Hubbert, de ahí que a la curva que conocemos actualmente de pico del petróleo, se le conozca como curva de Hubbert. Ver Figura 5

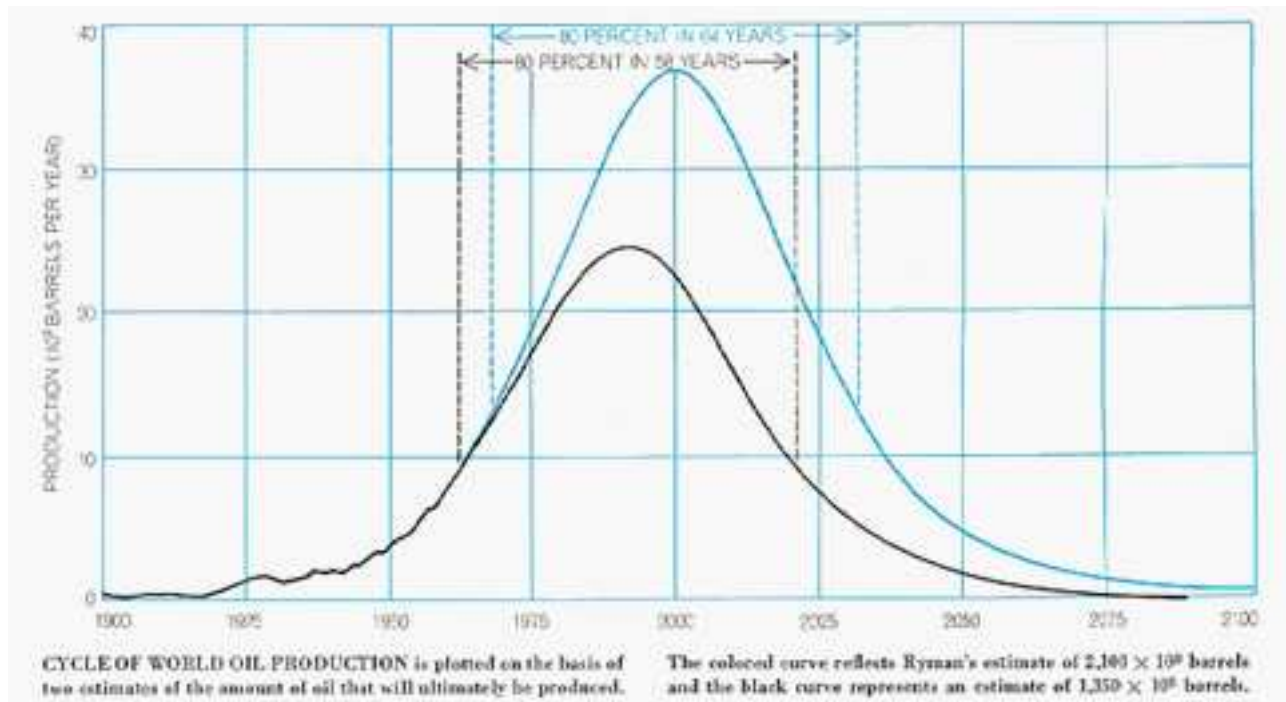


Figura 5. Curva de Hubbert. Potencia y Energía, A Scientific American Book, 1971, pg 39

¿Es el pico del petróleo una crisis?

La respuesta a esto es sí, ya que una crisis se define como una situación problemática y difícil o bien como un cambio brusco cuyas consecuencias son desconocidas, cualquiera de estas definiciones nos describe la situación actual del petróleo. Aunque actualmente se están poniendo en marcha planes de acción para la sustitución y transición de este combustible, se requieren acciones que enfatizen la importancia de este recurso y su racionalización.

La pregunta fundamental entonces es: ¿Nos estamos quedando sin petróleo?

Sabemos que el petróleo es un recurso finito, basándonos en esta premisa podemos decir que sí, efectivamente el petróleo se terminará, lo importante aquí es saber cuándo, cómo y la duración en la cual se efectuará este cambio. De acuerdo a diversos expertos, se dice que la producción de petróleo llegará a su pico antes o a más tardar en el 2020. La verdad es que no existe un año

confirmado pues aunque escasos, todavía se siguen encontrando nuevos yacimientos, nótese que los que se han encontrado en años recientes, son menos de una tercera parte de los que se encontraron en el auge de descubrimiento de yacimientos de 1960.

Realmente el problema no es que se encuentren menos yacimientos que en el auge de descubrimientos, sino que la relación de nuevos descubrimientos con el aumento de la demanda que se tendrá, será insostenible. Las reservas están cayendo a una tasa de 4 veces en comparación con la de nuevos descubrimientos¹⁴.

Hoy en día y con el adelanto tecnológico se tiene más certeza sobre el número de reservas probadas, esto gracias al desarrollo de nuevas técnicas sismológicas de imagen en 3D. No obstante se desarrollan nuevos métodos de predicción y aparatos más sofisticados, no se han encontrado tantos nuevos yacimientos como se esperaría. Actualmente se dice que se conoce la localización del 90% del petróleo convencional.

Con ayuda de estas tecnologías de estimación de recursos petroleros, los países realizan los reportes anuales sobre sus reservas, de esta información es de donde los expertos han hecho estimaciones para predecir el pico del petróleo, a continuación se mencionan algunas de estas predicciones:

*“La producción de Medio Oriente está en aumento. El resto del mundo llegará a su pico en 1997 y está por lo tanto en decline.”*¹⁵

*“Los estudiosos piensan que será pronto. Empieza a parece ser que en 2007”.*¹⁶

*“En el top 7 de los productores de petróleo, todos han llegado a su pico (USA [1971], Noruega [2000] and México [2005], están a punto de llegar a su pico 2006-2007 (China) o cerca de llegar al pico de producción en términos de la máxima cantidad de petróleo que pueden producir (Arabia Saudita, Rusia, Irán).”*¹⁷

14 Will the End of Oil mean the end of America?, Robert Freeman, March 1, 2004

15 Peak Oil: an Outlook on Crude Oil Depletion, Colin J. Campbell

16 Oil Gone, R. V. Scheide, 2004

17 <http://depetition-scotland.org.uk/>

“Se estima que la producción mundial, llegará a su pico en 2010.” Agencia Internacional de Energía, IEA.¹⁸

Lo que podemos concluir de estas predicciones es que el pico del petróleo si no ocurrió ya, está por ocurrir en un futuro cercano, este futuro es por tal poco alentador si no se actúa prontamente.

No podemos tomar estas predicciones como totalmente certeras ya que los datos con que cuentan las compañías petroleras y los organismos de investigación sobre el petróleo, son los reportes que anualmente hacen los países sobre sus reservas, empero no siempre se dan los datos correctos o se tienen inconsistencias en el cálculo de las reservas probadas. *“Hay un desacuerdo de cuánto petróleo queda aún, debido a datos notoriamente inexactos de las reservas”*.¹⁹

Para ejemplificar consideraremos un caso en México: en la Prospectiva de Petróleo 2008 que publica la Secretaría de Energía, el número de reservas probadas que se describe con respecto a la prospectiva del año anterior (2007) es diferente, se tiene un valor menor. La explicación que se da de este cambio de reservas probadas por probables, es el nuevo método de medición, donde según criterios de la SEC, Securities and Exchange Commission, se reubicó a las reservas probadas en probables y posibles, sin alterar el número de reservas 3P que se tenía para los dos años.

*“El aumento en el volumen de las reservas probables entre 2002 y 2003, es debido a que ese año Pemex adoptó los criterios de la SEC para la definición de reservas probadas, reubicando parte de las reservas probadas en probables y posibles sin que se modificara el volumen total de reservas (3P).”*²⁰

Si consideramos entonces una medición basada en reservas probadas, el resultado de nuestra predicción del pico del petróleo sería equivocado.

18 <http://www.iea.org>

19 Waking up to the threat of peak oil, Ron Way, August 2008

20 Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos de México, varios años.

En otros casos el problema del cálculo del pico del petróleo con datos proporcionados por los países sobre sus reservas es que estos datos pudieran estar alterados para la manipulación del precio del petróleo, ya sea para aumentarlo o para disminuirlo.

2.2 Volatilidad de los precios del petróleo

El consumo de energía, de acuerdo a las estadísticas de British Petroleum, en su publicación anual: *BP Statistical Review of World Energy, June 2008*, del año 2007 al 2008, creció en 2.4%.

Por su parte el consumo de petróleo crudo aumentó en 1.1, mientras que la producción mundial cayó 0.2%.

Según estas estadísticas el incremento en el consumo de energía de países en desarrollo como son China e India, que aumentó 7.7% en un año, esto significa que el desarrollo de un país implica un consumo mayor de energía.

Si asociamos consumo de energía con desarrollo tendremos entonces el panorama de consumo global actual, los países más desarrollados son los que más energía consumen y cuya dependencia del petróleo es más grande, tal es el caso de E.U, cuyo consumo energético es de 20698 miles de barriles por día, esto es 23.9% del total del consumo mundial.

Para saber que hemos llegado al pico del petróleo debemos considerar el comportamiento de la curva de producción, en cuyo caso decrementará a través del tiempo.

En este escenario: el precio del petróleo aumentaría por la escasez del recurso provocando serios problemas económicos ya que el consumo de hidrocarburos es esencial en el desarrollo y sostenimiento de un país.

Básicamente utilizamos el petróleo y sus derivados en tres cuestiones fundamentales:

- El transporte
- Alimentos
- La electricidad, calefacción

Transporte. El uso de petróleo para generación de gasolinas y diesel.

Alimentos. Del petróleo se elaboran pesticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes, se utilizan combustibles fósiles para la maquinaria en la agricultura (máquinas de arado), para las instalaciones y máquinas de proceso de alimentos y distribución y almacenamiento de los alimentos (refrigeración).

Electricidad. Uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad como es el caso de las termoeléctricas, las plantas de ciclo combinado por mencionar algunas. Para la calefacción doméstica. Aunque actualmente se está sustituyendo por el uso de gas natural.

Si el precio aumenta de manera exorbitante, la primera consecuencia palpable para nosotros estará en el alza de precios de transporte y comida. Con seguridad los países pagarían estos precios en el inicio, pero por ¿cuánto tiempo sin que la economía colapse?. Eventualmente esto resultaría incosteable, los países dejarían de comprarlo y nos encontraríamos entonces en un escenario como el de los bioenergéticos actuales, donde la relación costo-beneficio es tan baja que es por eso que son poco utilizados. Las consecuencias de un alza en los precios serían entonces:

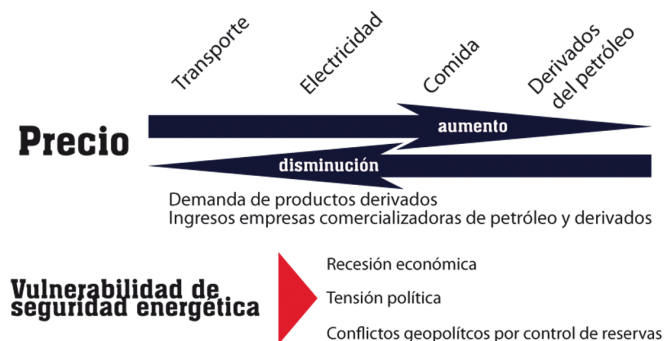


Figura 6. Consecuencias cenit del petróleo

- Aumenta el precio del transporte
- Aumentaría el precio de la electricidad
- Aumentan los precios de químicos, medicamentos, plásticos
- Precios elevados en la comida
- Disminución de la demanda de productos derivados de los hidrocarburos
- Menores ingresos para las empresas que los comercializan
- Desempleo, por el aumento de costos y disminución de ingresos en las empresas
- Inestabilidad financiera
- Conflictos o guerras para la protección de los recursos petrolíferos
- Tensiones políticas
- Recesión económica
- Vulnerabilidad de la seguridad energética

En la Tabla 1 se muestran las consecuencias antes mencionadas pero agrupadas por sector:

Tabla 1. Consecuencias del cenit del petróleo

Sector	Consecuencia
Transporte	Escasez de combustibles fósiles: gasolina, diesel y por tanto aumento de tarifas del transporte. Economía desglobalizada por la falta de comunicación entre países.
Industrial	Aumento del precio de productos derivados del petróleo Aumento en precio de medicinas
Agricultura	Precios altos alimentos Crisis alimentaria
Comercial	Aumento de precio de productos y servicios
Residencial	Aumento en tarifas de calefacción y aire acondicionado, en los países con temperaturas extremas, esta consecuencia sería desastrosa. Cambios radicales al estilo de vida
Electricidad	Elevadas tarifas

Mientras más se decline en la curva de producción, se tendrán no nada más precios más altos por la relación oferta-demanda, sino también por la dificultad de la explotación del recurso

(aguas profundas), probablemente existan reservas pero son lugares difíciles para la perforación.

Es importante resaltar que la pendiente de las curvas de producción es más grande o se ha ido incrementando a una tasa mayor en los principales campos petroleros es decir, que mientras más grande es el campo petrolero mayor es el decline de su curva de producción, tal es el caso de Cantarell en México, campo que además de ser uno de los más grandes del mundo y el más grande de México, es de donde proviene el 50% de los recursos petroleros del país.

Para conocer más a fondo las implicaciones del pico del petróleo tanto en nuestro país como a nivel mundial debemos profundizar en los beneficios que obtenemos del petróleo.

De acuerdo a las estadísticas de Goldman Sachs, el petróleo ocupa una parte esencial en la compra de mercancías:

Tabla 2. S&P GSCI™ Components and Dollar Weights (%) (May 12, 2009)

Energía	67.51	Metales industriales	6.75	Metales preciosos	3.32	Agricultura	17.15	Reserva viva	5.28
Petróleo crudo	36.44	Aluminio	2.20	Oro	2.97	Trigo	4.30	Ganado vivo	2.91
Petróleo Brent	12.66	Cobre	2.89	Plata	0.35	Trigo rojo	0.92	Ganado de engorda	0.59
Gas RBOB	4.75	Plomo	0.41	Maíz	4.42	Cerdos magros	1.77		
Petróleo para calefacción	4.07	Níquel	0.64	Soja	3.17				
GasOil	4.40	Zinc	0.61	Algodón	1.12				
Gas natural	5.19			Azúcar	2.04				
				Café	0.84				
				Cocoa	0.34				

Con base en la Tabla 2 podemos ver que la energía forma el 67.51% de lo que se gasta diariamente en mercancías, y específicamente el petróleo crudo conforma el 36.44%. Volviéndolo

así el bien más comercializado del mundo y por tanto el más valioso.

Los precios deben mantenerse del orden de 60 dólares por barril ya que la reducción de precios sólo alentaría el incremento del consumo, traduciéndose en una disminución acelerada de la curva de producción del petróleo.

2.3 Alternativas para la sustitución del petróleo en el sector transporte

A ciencia cierta no existe aún combustible o energético que sustituya al petróleo pero se siguen desarrollando tecnologías que intentan disminuir nuestra dependencia del petróleo. Dentro de este tipo de alternativas se encuentran: hidrógeno, biodiesel, etanol, gas natural, carbón, electricidad. A continuación se muestra un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de estos energéticos con respecto al petróleo:

Tabla 3. Ventajas y desventajas energías alternativas del petróleo

Combustible	Ventajas	Desventajas
Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión limpia • No se tienen emisiones de gases de efecto invernadero, ni contaminantes. • Alta eficiencia para en máquinas de combustión interna. • Se puede obtener de fuentes renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> • La obtención de hidrógeno a través de metano (gas natural), • <i>“Para reemplazar un galón de gasolina, se necesita usar el equivalente de 6 galones de gasolina para hacer ese mismo galón, pero de hidrógeno”.</i>¹² • Energía baja por unidad de volumen • Se necesitan grandes contenedores para su almacenamiento. • <i>“Los materiales con los que se fabrican las celdas son costosos”.</i>¹³

En este tipo de crisis el gobierno juega un papel único para guiarnos y procurar disminuir al máximo el impacto del fin de los combustibles fósiles.

¹² The end of the age of oil, David Goodstein, CalTech News, California Institute of Technology, 2004

¹³ http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/4/celdas_combustible.pdf

Combustible	Ventajas	Desventajas
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede obtener de diferentes aceites vegetales y minerales. • Reducción de gases de efecto invernadero en comparación con combustibles convencionales. • Alarga la vida del motor • Reduce el ruido del motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requerirían grandes campos para el cultivo de los combustibles, esto hablando de su uso como sustituto del petróleo. • Se emiten óxidos de nitrógeno • Poco tiempo de almacenamiento.
Etanol	<ul style="list-style-type: none"> • Menos emisión de gases a la atmósfera. • Su obtención puede ser de diversas semillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requieren grandes campos para su cultivo. • El agua residual de las plantas de conversión contamina el agua de los ríos en donde se vierte. • Uso de agua de riego • Uso de fertilizantes, fungicidas y pesticidas para la producción de los cultivos.
Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia • No tiene emisiones de contaminantes en el punto de consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener electricidad a partir de combustibles fósiles. • Largos tiempos de recarga de baterías.
Gas natural	<ul style="list-style-type: none"> • Menos emisiones al medio ambiente que el petróleo crudo • Menor precio 	<ul style="list-style-type: none"> • Llegará al cenit de su producción pocos años después que el petróleo. • Emisión de NO_x
Carbón	<ul style="list-style-type: none"> • Energía a bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes emisiones al ambiente: CO₂, NO_x. • No renovable

2.4 Conclusiones

Pensar en el cenit del petróleo no es tan importante como pensar en el agotamiento total del recurso, pero conocer el momento de máxima producción es imprescindible para la planeación de un mundo sin petróleo. Esto implica una reestructuración de nuestro mundo tal y como lo conocemos ahora. La única manera de salir airosos de esta crisis es igual a la del cambio climático, con la cooperación internacional para la búsqueda y desarrollo de mejores tecnologías y la implementación de políticas que preserven el recurso por el mayor tiempo posible. Estas son algunas medidas que se están tomando en cuenta para adaptarnos en tiempo al agotamiento del petróleo.

Sector residencial:

- Construcción de casas y edificios de alta eficiencia energética
- Diseño bioclimático de edificios y construcciones
- Construcciones a base de materiales ecológicos
- Promover el uso de biogás
- Uso de LEDS para el ahorro de energía doméstico
- Uso de LEDs o celdas solares para el alumbrado público

Transporte:

- Mejorar la eficiencia de las máquinas y turbinas de combustión que utilicen combustibles fósiles, esto permitirá el aprovechamiento máximo del combustible.
- Sustituir los combustibles fósiles por combustibles alternativos eficientes.
- Promover el caminar, el uso de bicicletas y el de transporte público.
- Uso de vehículos híbridos

Tecnología:

- Desarrollo de técnicas de recuperación más eficientes.
- Recuperación secundaria y terciaria de yacimientos.
- Desarrollo de combustibles alternativos eficientes
- Búsqueda de los métodos más óptimos para la obtención de combustibles no con-

vencionales (bitumen, kerógeno de esquistos o crudo extrapesado, etc.)

Educación:

- Programas de educación ambiental y de cuidado de los recursos energéticos

Alimentos:

- Desarrollo de cultivos que disminuyan la utilización de pesticidas y fertilizantes.
- Tecnología que necesite menos maquinaria para la producción masiva de alimentos

Economía:

- Inversión en proyectos de eficiencia energética
- Inversión en proyectos de desarrollo de energías alternativas

Política:

- Promover políticas que incentiven el uso y generación de energías renovables
- Implementar políticas para la conservación de la energía
- Planes de desarrollo con la participación de todos los sectores
- Unificación de sistema de gobierno para dar soluciones más rápidas y acertadas.

También podríamos empezar a alternar el gas natural, el carbón y el petróleo. Algunas personas piensan que el gas natural será el perfecto sustituto del petróleo por su alta eficiencia energética y baja emisión de gases contaminantes. Sin embargo ésta sería sólo una solución temporal, ya que el uso de éste ha aumentado y también está próximo a llegar su pico. De la misma manera si sustituimos al petróleo por carbón, nos enfrentamos a los inconvenientes de las emisiones contaminantes y el problema de distribución de las reservas en el mundo, ya que en Rusia, China y E.U es donde se concentran los grandes yacimientos de carbón.

Capítulo 3. Desregulación de la electricidad

CAPÍTULO 3 LIBERALIZACIÓN DE LA ELECTRICIDAD

En los últimos años la industria eléctrica ha sido sometida a cambios y transformaciones tanto en la estructura y actores de su modelo organizativo como en los mecanismos de mercado bajo los que se rige, presentando una mayor tendencia en la separación de las actividades de la cadena de suministro de la electricidad, mayor participación del sector privado en las actividades de su cadena de suministro y haciendo mayor énfasis en el consumidor final o cliente, para satisfacer sus necesidades de libertad de elección, calidad de servicio y precio. Permitiendo a los consumidores participar como consumidores activos¹⁴. En países como Dinamarca, Suiza, Alemania y España, y con la problemática del cambio climático, la generación a base de energías renovables está tomando gran auge.

El conflicto entre la liberalización o regulación de la electricidad se manifiesta en las diferencias, ventajas y desventajas que ha presentado la elección de cualquiera de los modelos en el mundo y en el análisis de sus implicaciones en el aseguramiento de servicios de calidad eléctrica. A continuación se presentan los modelos de organización de la industria eléctrica y los problemas y soluciones que ha significado la elección de cada uno.

3.1 Electricidad o industria eléctrica

La electricidad como motor de nuestras vidas es una aseveración que toma importancia en esta nueva era de desarrollo tecnológico y que va de la mano con el crecimiento poblacional y la importancia de satisfacer las necesidades actuales.

El aprovechamiento y la posibilidad de tener este servicio en nuestros hogares y lugares de trabajo, radica en una serie de actividades secuenciales en las que se genera, transmite, distribuye y comercializa la electricidad y que se describen a continuación:



Figura 7. Actividades de la industria eléctrica

Como se aprecia en la figura 7 la primera actividad de esta cadena corresponde a la generación eléctrica que es la transformación de energía cinética, potencial, mecánica, térmica, lumi-

14 AIE (2005), “Lessons from liberalised electricity markets, <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/lessons2005.pdf>

nosa, química, nuclear, etc., en energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de combustibles y fuentes de energía, en esta primera actividad se encuentra la construcción de las plantas eléctricas de generación. Esta energía eléctrica es transmitida a través de una extensa red eléctrica de líneas de alto voltaje, que minimiza pérdidas, a una red de distribución, donde se disminuye el voltaje y se lleva al consumidor final. La comercialización incluye los servicios de medición, facturación y cobranza.

Para considerar un modelo organizativo debemos considerar las siguientes características de la electricidad:

- No puede ser almacenada económicamente en las cantidades necesarias y debe producirse en el momento de su uso.
- La oferta y demanda varían de acuerdo al estado del tiempo, a la hora del día y estación del año. En el caso de las hidroeléctricas las sequías pueden reducir la oferta significativamente.
- Necesita una red de transmisión y distribución para llegar al consumidor final.
- Aún no tiene sustituto en la mayoría de sus usos.
- Demanda inelástica en el corto plazo.
- Posee un carácter estratégico por las actividades que dependen de ella.

De la misma manera, la industria eléctrica se caracteriza por:

- Ser una industria intensiva en capital que necesita de gran infraestructura. Costos fijos altos con respecto a los variables (en el caso del Ciclo Combinado los costos variables son más altos que los fijos).
- Tener una estructura de monopolio natural
- Requerimientos de personal especializado
- Contaminante por lo que es sujeta a estrictas regulaciones ambientales
- Impacto visual. Grandes y ruidosos complejos

3.2 Modelos organizativos de la industria eléctrica¹⁵

A finales del siglo XIX, la industria eléctrica era un sector fragmentado, de carácter local y privado ¹⁶. En los inicios del siglo XX se considera el suministro eléctrico como un servicio público que empieza a ser regulado por el gobierno. Se presentan tres escenarios: Monopolio verticalmente integrado, adoptado por muchos países europeos en la postguerra de la Segunda Guerra Mundial (nacionalización); Monopolios privados regulados por una autoridad independiente (Es-

15 Fernandez J.C., internacionales en mercados eléctricos liberalizados, Anales de Mecánica y Electricidad. Marzo-Abril 2003.

16 “Electricity market reform. An IEA handbook”, International Energy Agency, 1999.

tados Unidos); y Monopolio vertical con participación de empresas municipales en actividades de distribución.

Existen tres modelos de organización alternativos al modelo de monopolio que permiten la existencia de competencia¹⁷, el modelo de comprador único, el modelo de mercado mayorista y el modelo de mercado abierto. Estos modelos buscan introducir progresivamente mayor competencia.

Modelo de monopolio

En este modelo no existe la competencia ni capacidad de elección por parte del consumidor final (CF), el cual permanece cautivo. Según los países, puede estar caracterizado por una única compañía vertical y horizontalmente integrada o por varias compañías verticalmente integradas con zonas de operación definidas. También admite variantes en cuanto a la integración vertical, existiendo casos, como EU antes del proceso de liberalización, en los que la actividad de distribución (D) es realizada en régimen de monopolio por compañías independientes de las que realizan las actividades de generación (G) y transporte (T). La Figura 8 muestra esquemáticamente diversas estructuras de monopolio. Este modelo puede ser de propiedad pública o privada y fue el adoptado en todo el mundo antes de la liberalización.

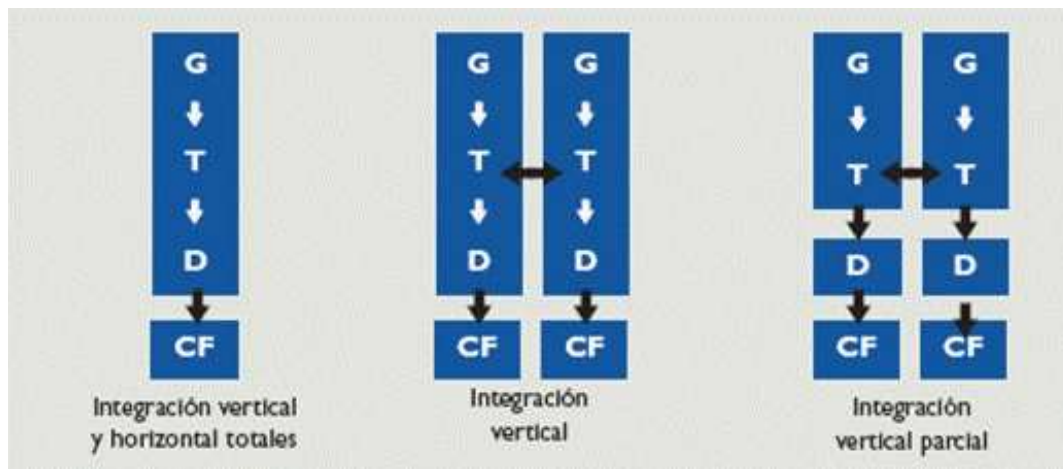


Figura 8. Modelo de monopolio

Modelo de Monopsonio o comprador único

En el modelo el comprador único (figura 9) una empresa eléctrica local o nacional compra

17 "Unlocking the grid", S. Hunt, G. Shuttleworth, IEEE Spectrum, pp 20-25, July 1996.

energía eléctrica a productores diferentes a ella (productores independientes y auto abastecedores con excedentes). Regularmente los productores independientes son seleccionados mediante licitación. La competencia se limita entonces a la generación. En este modelo pueden coexistir varias compañías verticalmente integradas, pero se permite la existencia de generadores independientes con el objetivo de atraer la inversión. El agente comprador actúa como un monopolio en las actividades de transporte, distribución y comercialización. Los consumidores finales permanecen cautivos de la empresa eléctrica local. Algunos países en desarrollo han adoptado este esquema como un modelo definitivo, especialmente cuando las características del sistema eléctrico son incompatibles con un modelo de mercado más desarrollado¹⁸.

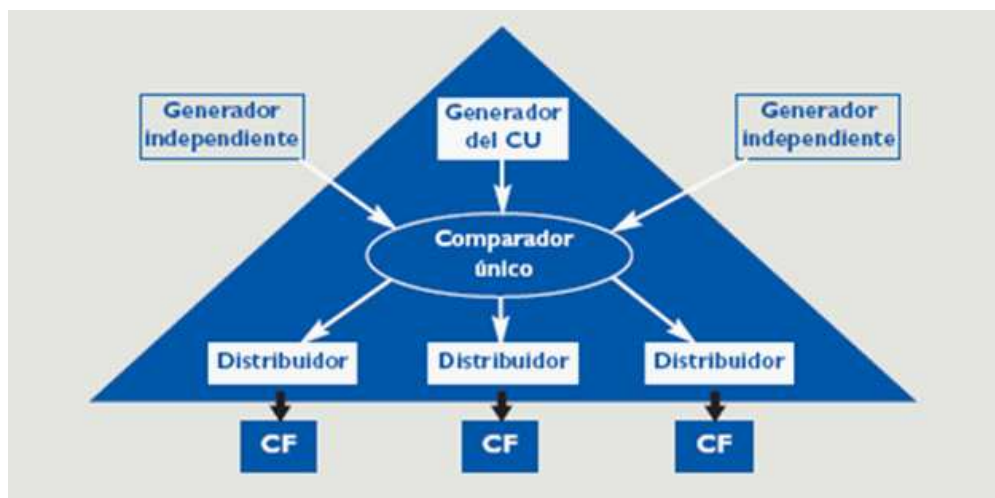


Figura 9. Modelo de monopsonio

Modelo de competencia mayorista

Este modelo permite la competencia en dos ámbitos (figura 10): por un lado, las empresas generadoras compiten entre ellas y con posibles nuevos entrantes por producir la energía necesaria. Por otro, las compañías distribuidoras mantienen el carácter de monopolio local pero pueden comprar libremente a los generadores. La compraventa de energía suele establecerse total o parcialmente a través de un mercado organizado por el Operador del Mercado, donde las transacciones son al contado (spot). Los generadores pueden vender directamente a los distribuidores mediante contratos bilaterales.

18 “Electricity sector deregulation in the APEC region”, Asia Pacific Energy Research Centre, March 2001



Figura 10. Modelo de competencia mayorista y minorista

Modelo de mercado abierto o de libertad de elección para todos los consumidores

En este modelo la competencia actúa en todos los niveles de la cadena de suministro (figura 11). Los consumidores finales pueden seleccionar al proveedor de su elección. Es habitual que la introducción de la competencia al menudeo se realice en forma gradual, empezando con los grandes consumidores y concluyendo cuando los más pequeños tienen libertad de elección.



Figura 11. Modelo de libertad de elección para todos los consumidores

3.3 Reestructuración de la industria eléctrica

De manera general el modelo tradicional de organización se caracteriza por ser una empresa pública o privada, que se encarga de todo el proceso de suministro y que abarca todas las áreas desde la generación hasta la comercialización de la electricidad, encargándose también de la planeación y expansión de los sistemas. En términos económicos, el modelo consiste en:

- La integración vertical en todos los segmentos de la cadena;
- Un monopolio territorial (regional o nacional);
- La operación coordinada del sistema eléctrico, y
- La planificación de la inversión basada en economías de escala y el desarrollo óptimo de redes.

Ese modelo se impuso en todo el mundo por más de 50 años, desde inicios de la década de los años 30 hasta finales de los años 70, por sus múltiples ventajas técnicas, económicas y sociales. A partir de entonces surge un profundo movimiento de ideas que empieza a cuestionar las ventajas y desventajas de ese modelo, buscando orientarse a las ideas a las que se inclinaba el mercado. Primero en Estados Unidos (1978), luego en Chile (1982) y Gran Bretaña (1988) y de ahí a otros países. Diversos factores se conjugaron en ese cuestionamiento:

- El renacimiento de teorías económicas que cuestionan la integración vertical y los monopolios.
- El deseo del capital financiero internacional por penetrar sectores productivos donde existían ganancias sustanciales y seguras, que habían quedado fuera de su alcance durante el periodo de estatismo empresarial posterior a la Segunda Guerra Mundial (electricidad, gas natural, agua potable, telefonía, satélites, ferrocarriles, aeropuertos, puertos...), o a raíz del auge del nacionalismo tercermundista (petróleo, minerales...).
- La madurez de la industria eléctrica en los países industrializados (Para enfrentar el estancamiento de la demanda y, por lo tanto, la declinación de la tasa de ganancia, había que salir de las fronteras nacionales y penetrar mercados en rápido ascenso que sólo se encontraban en los países en desarrollo.)
- Los programas de ajuste estructural a los países del sur con graves problemas de endeudamiento que solicitaban ayuda financiera.
- Las políticas del denominado Consenso de Washington¹⁹, elaborado por la Reserva Federal de

¹⁹ Doctrina cuyos componentes son el control de la inflación, la disciplina presupuestal, la disminución clasista de impuestos, la reducción de gasto público, la liberalización del comercio y la inversión, así como la venta de los activos públicos y el desmantelamiento del estado del bienestar. Dicho consenso se ha venido proponiendo como una solución universal a todos los problemas económicos.

los EU, los organismos financieros internacionales (FMI, Banco Mundial...), y los financieros de Wall Street.

- La suspensión de préstamos para empresas eléctrica públicas por parte del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y otros organismos financieros multilaterales, así como la obtención de préstamos en salud, educación, combate a la pobreza y otros programas sociales, condicionada a la apertura de la industria eléctrica y de otros sectores estratégicos.

La justificación de transición hacia una liberalización de la industria se basa en algunas de las siguientes consideraciones:

- Avances en la teoría económica, sobre todo en la teoría de los mercados contestables. Según algunas investigaciones los mercados que se habían mantenido cerrados por razones históricas (servicio público), técnicas (presencia de un monopolio natural) o políticas (industrias estratégicas), podían abrirse bajo ciertas condiciones, para que se los repartieran las empresas en un ambiente de competencia, lo cual redundaría en beneficio de los consumidores y usuarios.
- Desarrollo tecnológico y de centrales de ciclo combinado. Las centrales de ciclo combinado representan un cambio en la planeación de los sistemas eléctricos. Su corto periodo de construcción, alta eficiencia y las bajas necesidades de inversión que requiere, la convierten en una forma de generación fácilmente alcanzable para múltiples productores. Si consideramos el rápido avance y los altos requerimientos de nuestra sociedad actual, la inversión en plantas nucleares o hidroeléctricas (que implican altos costos de inversión, operación y largos periodos de construcción) parecían una solución poco viable.
- Ineficiencia y endeudamiento de empresas públicas. Poca productividad y baja eficiencia de las empresas paraestatales. Problemas y baja calidad de servicio. Excesivas prestaciones. Subsidios.

El cuestionamiento del modelo tradicional ha resultado en reestructuraciones mediante cambios en tres niveles:

- la organización industrial,
- la regulación y
- el régimen de propiedad.

En términos concretos esos cambios se traducen en lo siguiente:

- la eliminación de los monopolios en mercados contestables (generación y comer-

- cio);
- la simulación de la competencia en monopolios naturales (transporte y distribución);
- la promoción de nuevas formas de competencia en generación (producción independiente, cogeneración, autoproducción);
- la participación privada en los programas de expansión de las empresas públicas; y
- la promoción de fuentes renovables por razones ambientales y de negocio.

Para considerar la inmersión significativa del sector privado se debe tener en cuenta tres elementos:

Desregulación. Consiste en la desintegración vertical y horizontal para crear mercados en cascada y el establecimiento de reglas para fomentar la competencia entre actores públicos y privados o mixtos.

Liberalización. Se refiere a la liberalización del comercio y consiste en permitir el libre tránsito de energía entre fronteras, así como la libre entrada de inversionistas y operadores en las diferentes actividades.

Privatización. Transferencia de activos públicos al sector privado, nacional o extranjero (delegar funciones, facultades y responsabilidades)

La reestructuración de la industria eléctrica se extendió por todo el orbe pero con intensidad y celeridad variables según el país. En el plano de la organización industrial el Banco Mundial ha impulsado tres esquemas: la producción independiente (finales de los 80's); el modelo inglés –modelo de mercado abierto– (principios de los 90's); y el mercado de grandes usuarios (desde mediados de los 90's). Los procesos de liberalización en su versión radical están lejos de haberse generalizado en todos los países.

3.4 Mercados eléctricos con problemas

Con base en la experiencia de los países cuyas prácticas en la industria se basan en la liberalización, se han encontrado problemas y errores que ponen en entredicho la liberalización como solución para un sistema eléctrico confiable.

Precios altos y volátiles.

Las fluctuaciones de precios se transmiten directamente al consumidor final y crean incertidumbre en los inversionistas, los cuales retrasan las decisiones de inversión y el margen de reserva baja, contribuyendo al aumento de precios al consumidor final.

Bajo la premisa de maximizar las utilidades en un mercado donde la demanda no participa en la formación de precios²⁰ los generadores pueden fijar precios estratégicos que respondan exclusivamente a sus intereses. A final de cuentas los usuarios pagan altas tarifas por el servicio.

Apagones, racionamientos y disminución de la calidad del suministro.

Los apagones son una de las consecuencias con mayores implicaciones económicas. En un sistema donde la planeación e inversión son deficientes, la demanda excede a la oferta y esto se refleja en el servicio. Los cortes en el suministro se deben a que los productores no se ven obligados a utilizar las plantas a su máxima capacidad²¹ y persiguen intereses estrictamente económicos en el uso y manejo de plantas y equipo.

Inequidad social.

En los países en vías de desarrollo los contrastes económicos son muy marcados. Las comunidades marginadas y de escasos recursos presentan los inconvenientes de no ser mercados rentables y no representan un potencial de desarrollo suficiente para costear la inversión en infraestructura que llevar la energía a esos lugares representa.

Desde el punto de vista económico proveer estos servicios resulta una mala inversión, que desde el punto de vista social representa un aislamiento y discriminación de estos sectores de la población. El papel del gobierno como responsable de garantizar la equidad social resulta imprescindible en este caso.

Inversión ineficiente.

Si la generación está basada principalmente en plantas de baja intensidad de capital y baja capacidad, la demanda crecerá sin la generación adecuada que la respalde. Inversiones implican riesgos y en un ambiente de competencia que persigue únicamente los beneficios monetarios no se arriesga.

Reintegración vertical.

Los altos costos que la separación de actividades implica, alientan a las empresas a reintegrarse verticalmente, con la posibilidad de prácticas monopólicas del sector privado.

20 “Transformaciones de la industria eléctrica mundial, de la algarabía de la desregulación al estruendoso fracaso de los mercados eléctricos”, Víctor Rodríguez Padilla, Agosto 2004

21 “It’s Greed Stupid! Debunking the Ten Myths of Utility Deregulation”, Wenonah Hauter and Tyson Slocum, Public Citizen’s Critical Mass Energy and Environment Program, January 2001

Riesgo en la diversidad energética

Si no se establecen políticas que incentiven el desarrollo de diversos tipos de generación, corremos el riesgo de depender aún más de los energéticos fósiles. Como se explicó anteriormente, esto implicaría alza de precios e incluso interrupciones de suministro.

Regulación creciente, costosa e ineficaz.

Se necesitan largos periodos de ajuste para establecer y aplicar eficazmente todas las regulaciones necesarias para encauzar a los mercados y establecer normas y mecanismos jurídicos y económicos. Las empresas aprovechan ventajosamente los vacíos legales y regulatorios, evitando sus obligaciones fiscales, jurídicas, ecológicas,...

Concentración de capital y desnacionalización.

Poco tiempo después de la liberalización y la privatización inicia un rápido proceso de absorción de empresas por las grandes corporaciones energéticas internacionales. En pocos años la industria eléctrica, estratégica como ninguna otra, queda en manos de empresas extranjeras. Ese resultado era previsible. La regulación busca ofrecer las mismas condiciones para todos, pero los participantes disponen de diferentes atributos y medios para competir que no se pueden regular, en particular, medios financieros, facultad gerencial, conocimientos, capacidad de cabildeo y apoyo de los gobiernos donde son originarias. Para que pueda existir competencia es de suma importancia crear un terreno neutral, pero en electricidad es una tarea imposible.

Rescates a cargo del Estado.

La importancia de garantizar suministro y la relevancia de la electricidad como impacto económico y político de un país, obliga al Estado a emplear mecanismos de protección a los proveedores que en ocasiones terminan subsanando sus problemas económicos. La creación de tarifas sociales para contrarrestar el impacto económico en regiones de escasos recursos, compra de generación privada a precios altos y revendiéndola a precios bajos, adopción de deudas de empresas privadas y préstamos a empresas privadas con problemas financieros, son algunos mecanismos que corren a cuenta del erario público y que sólo benefician a las empresas.

Estado bajo presión.

La dificultad en el proceso de reversibilidad en la creación de un mercado, está en los grandes intereses creados que impiden corregir fallas de diseño. La asociación de las empresas que se desarrollan en un ambiente desregulado y de nuevo la necesidad del continuo suministro del ser-

vicio adquieren un gran poder que ejerce presión sobre el Estado y lo hace susceptible a chantajes, alza de precios y exenciones injustificadas en sus obligaciones.

3.5 Reacciones y ajustes

“La liberalización de los mercados eléctricos es un largo proceso que requiere un compromiso político fuerte y sostenido, una preparación extensiva y detallada y un desarrollo continuo que permita las mejores necesarias mientras se tiene una inversión sostenida.”²²

Algunas consideraciones para la transición a un sistema desregulado:

- Adecuación de infraestructura para ofrecer servicios competitivos
- Transparencia en los procesos de toma de decisiones, transparencia en la rendición de cuentas de las empresas sobre los precios de la actividad que desempeñen, esto fortalecerá la confianza a las instituciones y al sistema.
- Instituciones imparciales y sólidas. Organismos que vigilen a los competidores de este nuevo orden, que salvaguarden los intereses de la población. Instituciones sólidas disminuyen la corrupción.
- Creación de una comisión que vigile la actuación entre competidores y vele por la sana competencia, evitando el surgimiento de prácticas monopólicas y actuando conforme a la ley si se presentan mediante la efectividad jurídica.
- Aplicación igualitaria de la normatividad a las empresas participantes.
- Clara delimitación de la participación del Estado como regulador de precios.
- Administración responsable de los recursos naturales en la generación de electricidad.
- Implementación de proyectos sustentables. Es deber del Estado incentivar y propiciar que se desarrollen proyectos que además de ser baratos, cuiden al ambiente.
- Responsabilidad social de las empresas. El gobierno deberá establecer lineamientos donde la equidad social y el cuidado del ambiente sean la base. Se debe construir un régimen que respete el mercado, que persiga la justicia social y defienda el medio ambiente.
- Planeación sinérgica de la expansión del sistema eléctrico

¿Por qué los países no han dado marcha atrás en la desregulación?

22 AIE (2005), “Lessons from liberalised electricity markets, <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/lessons2005.pdf>

Al menos por dos razones:

- Una vez que se hace una reforma que incluye la privatización de activos, funciones y ganancias se crean grandes intereses económicos que impiden revertir los cambios.
- Los organismos financieros internacionales, como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, continúan condicionando sus préstamos a la profundización de los procesos de desintegración, liberalización y privatización. Las grandes organizaciones de comercio (OMC, APEC, OCDE, etc.), la Agencia Internacional de Energía y otras instituciones influyentes siguen promoviendo las reformas legales radicales. Muchas comisiones reguladoras hacen lo propio por razones ideológicas, alineamiento político con las autoridades gubernamentales o captura por las empresas reguladas.

En la actualidad la industria eléctrica mundial tiene nuevas perspectivas en razón de una serie de incidentes mayores: la crisis de California, que causó daños económicos por más de 50 mil millones de dólares; la quiebra de Enron, que sacó a la luz pública las prácticas especulativas en los mercados energéticos y la colusión de las firmas de auditoría en los fraudes corporativos; los grandes apagones en los EU y la Unión Europea; el encarecimiento del petróleo, que ha servido para aumentar desproporcionadamente los precios de la electricidad, enriqueciendo a las compañías eléctricas aunque cuenten con grandes parques de generación de precio estable (energía nuclear en Francia, carbón en Alemania).

3.6 Conclusiones

Desregular un mercado no quiere decir que se eliminan normas o reglas, más bien se cambian y se establecen nuevas leyes, donde se permite la interacción de varios competidores, normalmente estas leyes son más complejas e implican mayores consideraciones con respecto a los actores, la planeación energética, la generación de monopolios y los precios.

Las experiencias en países de sistemas desregulados y las grandes desventajas que presentan nos dicen que no es viable aún considerarlos de manera unánime. Sin embargo independientemente del modo de organización elegido, se mantiene el mismo objetivo: contar con un suministro eléctrico continuo, eficiente y sustentable.

Se elija un sistema regulado o desregulado, es importante:

- Actualizar la legislación de acuerdo a las nuevas formas de generación.
- Mantener la equidad social
- Diversificar las formas de generación
- Incentivar las energías limpias
- Invertir en proyectos de desarrollo tecnológico
- Aumentar la productividad de: máquinas, equipos de trabajo y empleados a través de programas de mejora del rendimiento.
- Transparencia de los procesos
- Apertura del proceso de toma de decisiones
- Trabajo conjunto de los sectores público y privado.
- Adecuada planeación en base a la demanda.

Sólo si se consideran estas acciones se podrá mejorar el desempeño de la industria eléctrica.

Capítulo 4.
Implicaciones sobre la
seguridad energética

CAPÍTULO 4 IMPLICACIONES DE LAS CRISIS SOBRE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

En la siguiente tabla se hace una recopilación de las consecuencias individuales de las crisis, enunciándose las más importantes:

Tabla 4. Consecuencias de las crisis

	Cambio Climático	Cenit del petróleo	Desregulación de la electricidad
Consecuencias individuales	<ul style="list-style-type: none"> • Sequías más intensas • Inundaciones • Más fenómenos naturales • Pérdida de especies y ecosistemas • Escasez de alimentos • Escasez de biocombustibles • Desplazamientos poblacionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos combustibles fósiles • Disminución de actividad en el sector transporte. • Falta de materia prima para las industrias • Problemas geopolíticos por el control de reservas 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo poca inversión • Precios de la electricidad elevados. • Apagones • Riesgo en la continuidad del servicio

Como se menciona al inicio de esta tesis, estas crisis se relacionan y tienen efectos sobre la seguridad energética. Para conocer más detalladamente cómo actúan entre sí, se plantearon 4 posibles escenarios:

Cambio climático-Cenit del petróleo

Dificultad para explotación de yacimientos petroleros a causa de condiciones climáticas poco favorables. Los huracanes y tormentas costa fuera podrían causar graves daños en las instalaciones y complejos petroleros e incluso obligar al cierre de los pozos. El derrame de petróleo además ocasionaría importantes desastres ecológicos.

Escasez y precios altos de fertilizantes. Los fertilizantes químicos a menudo se producen con amoníaco que se extrae del petróleo. Con insuficiencia de fertilizantes las tasas de crecimiento de los cultivos bajarían.

Escasez y precios altos en combustibles para maquinaria agrícola y transporte. La gasolina y el diesel aumentan con el precio del petróleo. El aumento de costos de transporte y producción de alimentos se refleja en el precio final de estos.

Cambio climático- Desregulación de la electricidad

Alteraciones en eficiencia de centrales eléctricas renovables. Los cambios en el clima afectan las condiciones previstas para la construcción de centrales eléctricas que aprovechan energías, al cambiar por ejemplo: la irradiancia de campos solares, la velocidad del viento en centrales eol-eléctricas y por el exceso o escasez de agua en las hidroeléctricas.

Daño a infraestructura por fenómenos naturales. Los vientos más intensos son la causa principal de daños en las líneas de transmisión.

Cenit del petróleo-Desregulación de la electricidad

Precios exorbitantes para combustibles fósiles y precios elevados de generación de electricidad y por tanto de su venta. El aumento en los precios del petróleo aumenta los costos de producción las de plantas eléctricas “convencionales” que utilizan combustóleo y en consecuencia del precio de la electricidad.

Riesgo de disponibilidad de combustible para centrales eléctricas. Con el fin del petróleo cesan las exportaciones del combustible, suben los precios y las centrales se quedan sin recursos para la producción.

Amenaza de no cubrir la demanda energética- Apagones. La demanda de energía eléctrica no cambia y la oferta no tiene el potencial para satisfacerla. Existen apagones y pérdidas millonarias en todos los sectores productivos.
Pérdidas económicas por falta de suministro.

Relación de las tres crisis: cambio climático-cenit del petróleo-Desregulación de la electricidad.

- *Crisis económica.* Aumento en precio de combustibles, electricidad, alimentos.
- *Crisis política y social.* Descontento con las condiciones que la falta de reglamentación causó. Inequidad social. Conflictos migratorios por cambio climático. Falta de recursos para la productividad.
- *Crisis alimentaria.* Falta de alimentos, enfermedades por desnutrición.
- *Crisis medio ambiente.* Daños a la salud por excesivas emisiones contaminantes. Destrucción de ecosistemas por aumento en condiciones climáticas y para construcción de plantas de generación.

Tabla 5. Consecuencias de la interrelación de las crisis

Cambio climático	Cenit del petróleo	Desregulación de la electricidad
<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para explotación de yacimientos petroleros a causa de condiciones climáticas poco favorables. • Falta de fertilizantes • Escasez y precios altos en combustibles para el transporte agrícola. 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Precios exorbitantes para combustibles fósiles. • Precios elevados generación electricidad y por tanto en la venta. • Riesgo de disponibilidad de combustible para centrales eléctricas. • Amenaza de no cubrir la demanda energética- Apagones. • Pérdidas económicas por falta de suministro. 	
Alteraciones en eficiencia de centrales eléctricas renovables.		Daño a infraestructura por fenómenos naturales.
Crisis económica Crisis política Crisis alimentaria Crisis medio ambiente		

Para realizar nuestro análisis sobre las implicaciones de las crisis sobre la seguridad energética estudiaremos las consecuencias de cada una de ellas sobre: la sustentabilidad, eficiencia y continuidad tanto en el suministro eléctrico como en el acceso a los energéticos.

La seguridad energética significa garantizar el suministro y el fácil acceso a los recursos energéticos a precios razonables, de manera eficiente y sustentable, para atender los diversos servicios de energía.

Sin esta seguridad no sólo el sector eléctrico está en riesgo, sino también la economía de un país.

Desde el punto de vista de la primera crisis, el cambio climático tiene efectos sobre la seguridad energética ya que implica entre otras cosas: escasez de recursos y problemas en el estado del tiempo, con consecuencias principalmente en satisfacer la demanda eléctrica.

Cambios en el estado del tiempo

En el caso de las hidroeléctricas, existen dos opciones de limitación en la capacidad de generación eléctrica: sequías o inundaciones. Sequías que causarían una disminución en el caudal del río, las presas bajarían su nivel y esto se vería reflejado en una disminución de la potencia necesaria para hacer funcionar las turbinas; por otro lado las inundaciones presentan la posibilidad

de rompimiento de la presa. El conflicto no existe exclusivamente para las hidroeléctricas, sino también para las plantas de energías renovables que generalmente basan sus estudios en las condiciones geográficas y climáticas que debido al calentamiento global podrían cambiarse.

La presencia de fenómenos naturales tanto en la generación como la destrucción de líneas de transmisión resulta en un riesgo para la seguridad energética.

Escasez de recursos

En el caso de los bioenergéticos, cultivos para la producción de biocombustibles, la sequía y la inundación serían también las razones fundamentales de la disminución de su producción, esta disminución se reflejaría en el precio y disponibilidad del etanol.

La segunda crisis (cenit del petróleo) es la restricción en el uso de este combustible. Con una sociedad basada en combustibles fósiles, lo más recomendable es la moderación en el uso de petróleo y derivados, además de la mejora en la eficiencia de máquinas e instalaciones que utilicen este tipo de recursos. De esta manera dispondremos de este recurso durante un periodo mayor que el que se tiene proyectado actualmente, con la subsecuente garantía de suministro. Es importante resaltar que aunque se modere su uso, es un recurso finito. El desarrollo de tecnologías alternativas es primordial para asegurar la seguridad energética a largo plazo.

La quema de combustibles fósiles es la principal causa del calentamiento global, si queremos una seguridad energética que sea sustentable entonces debemos limitar el uso de los mismos.

La tercera crisis amenaza la seguridad energética por involucrar cortes de suministro, precios elevados que corresponden a volatilidad de precio de combustibles de generación y a los acuerdos ventajosos de los productores para alcanzar mayores rentas.

Las innumerables desventajas de los sistemas desregulados nos dicen que es aconsejable conservar la integración vertical, así como el monopolio y la planeación centralizada de mínimo costo. La mejor opción para garantizar la seguridad energética es la conservación de los sistemas regulados, mejorando la competitividad de estas empresas, invirtiendo en tecnología y desarrollo tecnológico propios. En este caso no es necesario hablar de la protección social ya que al estar bajo el mando del Estado y al ser éste el responsable de garantizar la igualdad y equidad entre sus habitantes, este punto se da por sentado.

IMPLICACIONES PARA LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

	Cambio climático	Cent del petróleo	Desregulación de la electricidad
Sustentabilidad	Precios elevados biocombustibles.	Elevados precios de combustibles fósiles para generación eléctrica.	Falta de inversión en energías renovables
	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de carbón como sustituto de petróleo en transporte y generación eléctrica, implica mayores emisiones de CO₂. Emisión de contaminantes por uso de tecnologías que involucren combustibles fósiles. Falta de inversión en energías renovables que mitiguen efectos del cambio climático por las altas rentas que las tecnologías convencionales manejan. 		
Suministro	Interrupción en líneas de transmisión por fenómenos naturales	Escasez de combustibles para generación	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo de interrupciones del servicio si no se tiene la suficiente inversión para crecer de acuerdo al crecimiento de la demanda. Cortes de suministro por plantas que no trabajan a su máxima capacidad.
	Precios altos de combustibles, disminución de uso de plantas de generación que utilicen combustibles fósiles, riesgo de cubrir la demanda eléctrica.		
Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> Fluctuaciones en los niveles de hidroeléctricas. Cambios en el estado del tiempo para campos solares. Vientos de mayor o menor intensidad en plantas eólicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de fuentes alternativas renovables que no son suficientes para satisfacer la demanda eléctrica. Instalaciones operando a menos de su capacidad nominal por falta de combustible. 	

El problema de la seguridad energética no tiene sólo una respuesta, es un conjunto de políticas y cambios el que debe implementarse, algunas de las soluciones posibles que se consideran en los países para evitar crisis se enuncian a continuación.

- Establecer programas de ahorro de energía obligatorios en el hogar, la industria y dependencias gubernamentales.
- Crear un programa de cuidado de la energía y medio ambiente e instituirlo como

materia obligatoria en escuelas primarias y secundarias.

- Incentivar el desarrollo tecnológico sustentable tanto para la generación eléctrica como para la innovación en el sector transporte.
- Fomentar el uso de materiales biodegradables y crear una cultura de reciclaje.
- Establecer reglamentos de uso de calentadores híbridos y paneles solares para la industria de la construcción.
- Promover el diseño bioclimático y establecerlo como requisito en construcciones.
- Crear campañas publicitarias a favor del medio ambiente y de concientización sobre el uso racional de los recursos energéticos.
- Diseño tecnológico eficiente para el uso de combustibles fósiles.
- Incentivar desarrollo tecnológico para la exploración y explotación de los recursos petroleros.
- Fomentar el uso de energías alternativas, especialmente energías renovables. Ver Anexo 1.
- Establecer programas de cooperación con universidades y empresas nacionales para el desarrollo tecnológico.
- Participar y promover los mecanismos internacionales de cooperación para mitigación del cambio climático.
- Crear un mercado de emisiones de CO₂ que permita fijar un precio para las emisiones de CO₂, haciendo posible la incorporación de los costos ambientales en el costo total de la producción de electricidad.²³

La seguridad energética solo se podrá lograr si se implementan un conjunto de estas soluciones en un corto periodo de tiempo.

23 <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/lessons2005.pdf>

Conclusiones generales

Nos enfrentamos a una época de transición energética que significa un cambio completo de nuestros usos y costumbres. La seguridad energética como base en la creación de las políticas de gobierno será sustancial si se quiere incursionar en mejores y más grandes oportunidades. El cambio climático y el cenit del petróleo son crisis que nos están llevando al desarrollo de nuevas y más limpias tecnologías, es decir a la profundización en energías renovables. Estas energías son en gran medida la salida que tenemos de una crisis por falta de suministro eléctrico y de energéticos ya que no sólo provoca menos emisiones, sino también garantiza la explotación de los recursos naturales que utiliza, de manera indefinida.

Empero las renovables son una gran alternativa para el desarrollo sustentable, el uso de energía nuclear debe seguir considerándose como importante solución por la cantidad de energía que produce (La energía obtenida de la fisión de un kilogramo de uranio es equivalente a la que se obtiene quemando 2800 toneladas de carbón)¹⁴.

En cuanto a los combustibles, el carbón se perfila como el sustituto del petróleo (bajo costo y alto poder calorífico, si se considera: hidrógeno y biomasa como competidores) ya que el gas natural aunque es primer opción, tiene su pico cercano al del petróleo. El control de sus emisiones será un reto en las consideraciones del cambio climático. La localización de las reservas llevará implícito problemas políticos por la obtención y salvaguarda de recursos como el caso del petróleo.

El desarrollo tecnológico para generar electricidad de maneras alternas, la búsqueda de nuevos combustibles, las mejoras en eficiencia y emisiones de las máquinas de generación y la inversión y aplicación de los programas de ahorro de energía, son los primeros pasos que debe dar un país para la adaptabilidad de los recursos energéticos. Los mercados de carbono como medida del impacto al ambiente y la posibilidad de efectuar las transacciones de compra-venta servirán también como parámetro de verificación y permitirán la cooperación entre países desarrollados y subdesarrollados.

Hablar de desregulación en tiempos de cambio climático y pico del petróleo no es la mejor opción, porque implica una exagerada elevación de precios de combustibles, en el precio final y una desorientación de la planeación energética, que puede ser minimizado si el sistema eléctrico funciona como monopolio verticalmente integrado.

La planeación y suministro debe estar a cargo del Estado de modo que se garanticen los mismos derechos y oportunidades para todos. Esto no significa que la participación privada deje de existir bajo los esquemas de productor independiente o pequeños productores.

24 Energía e impacto ambiental, Jacinto Viqueira Landa, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Enero 2007

La conveniencia de contratar empresas particulares para la construcción de complejos eléctricos debe ser considerada en tanto no haga tendenciosa la planeación del sistema eléctrico para beneficiar la otorgación de contrato

A n e x o 1 .
Energías alternativas

A n e x o 1

E n e r g í a s a l t e r n a t i v a s

Las energías alternativas son indispensables para garantizar la seguridad energética de un país. A continuación se muestran ventajas y desventajas de las principales alternativas y las tendencias de su uso en el panorama mundial:

Ventajas y desventajas de las energías alternativas

1. Energía hidráulica
2. Energía nuclear
3. Energía geotérmica
4. Energía eólica
5. Energía solar
6. Energía mareomotriz
7. Bioenergía

Energía hidráulica. Energía generada a partir del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos.

Energía nuclear. Energía obtenida a partir de fisión de átomos, generalmente se utiliza el uranio-235 y el plutonio-239. En este proceso el calor generado por la fisión nuclear es utilizado para elevar la presión del vapor que mueve una turbina acoplada a un generador eléctrico.

Energía geotérmica. Esta energía proviene de la extracción de calor que se genera en el interior de la Tierra para el funcionamiento de turbinas de vapor.

Energía eólica. Se obtiene a través del movimiento de aeroturbinas, mismo que es generado por las corrientes de aire y transformada en energía eléctrica.

Energía solar. Es obtenida a través de la captación de energía irradiada por el sol, ya sea como calor o como onda electromagnética.

Energía mareomotriz. Energía obtenida por el cambio en el nivel del mar generado por las mareas, este sistema es similar a los usados en las hidroeléctricas.

Bioenergía. Energía producida por la combustión de compuestos orgánicos.

Tabla 6. Ventajas y desventajas por tipo de tecnología

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Energía hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> No requiere combustible Centrales de gran capacidad No hay emisiones de ningún tipo No contamina el agua 	<ul style="list-style-type: none"> Tarda en ser construida La inversión se recupera en un largo periodo Hay variaciones en el nivel del río y por tanto en el de generación. Cambio en el ecosistema del lugar donde se construye
2. Energía nuclear	<ul style="list-style-type: none"> No utiliza combustibles fósiles. 1kg de uranio equivale a 2800 toneladas de carbón. No tiene emisiones de GEI 	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo de accidentes nucleares Elevado precio de construcción de la planta Disposición de residuos nucleares.
3. Energía geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> No necesita combustibles fósiles Precios bajos de producción 	<ul style="list-style-type: none"> Se delimita a ciertas zonas geográficas Detrimento paisaje Ciertas emisiones de GEI
4. Energía eólica	<ul style="list-style-type: none"> No utiliza combustibles fósiles Cero emisión de GEI 	<ul style="list-style-type: none"> No es constante Solo se puede instalar en lugares donde el viento sea fuerte. Detrimento paisaje Ruido de los aerogeneradores
5. Energía solar	<ul style="list-style-type: none"> Cero emisiones contaminantes en la producción. No necesita combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> Depende de las condiciones del estado del tiempo y del clima. Es poco eficiente, las celdas solares tienen alrededor de un 15% de eficiencia. Emisión en la construcción de la planta. El material para construir los paneles solares es caro.
6. Energía mareomotriz	No hay emisiones de GEI	<ul style="list-style-type: none"> Efectos sobre la biodiversidad del lugar. Contaminación visual Depende del nivel y amplitud de las mareas.
7. Bioenergía	<ul style="list-style-type: none"> Se puede obtener a partir de subproductos como: maíz, paja, frutos secos, productos orgánicos. Diferentes procesos de aprovechamiento: pirólisis, aprovechamiento directo, procesos de fermentación anaeróbica, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas en emisión de gases de efecto invernadero por combustión incompleta. Daños a la salud por elevados niveles de contaminación por humo. Uso abundante de agua, fertilizantes, fungicidas y pesticidas.

En este sentido la energía nuclear es la que tiene más ventajas sobre las otras, podríamos decir que es la única alternativa que podría sustituir en generación eléctrica al petróleo, sin embargo se necesitarían construir 10,000 plantas de potencia nuclear para igualar el la potencia que actualmente obtenemos de los combustibles fósiles. Si consideráramos ahora al uranio nuestro combustible más importante, éste también entraría en una curva de detrimento durando entre 10 y

20 años²⁵.

Por otro lado podríamos considerar también a la energía solar como un sustituto el problema es la eficiencia, tal como se menciona en la tabla es muy baja, lo que actualmente lo hace poco viable. Se necesitaría buscar elementos de baja emisividad y alta absorción.

Se espera también que en el futuro, las investigaciones sobre la fusión nuclear estén suficientemente desarrolladas para poder explotar este tipo de tecnología. Si bien se ha logrado ya la termofusión, no se ha logrado aún el control de la reacción nuclear. La fusión nuclear, es la fusión de dos átomos de hidrógeno, esta reacción nuclear es la que realiza el sol, dando origen al helio.

25 The end of the age of oil, David Goodstein, CalTech News, California Institute of Technology, 2004

Anexo 2.
Mejor energía
alternativa

A n e x o 2 M e j o r e n e r g í a a l t e r n a t i v a

A continuación se muestra un ejercicio para determinar ¿cuál es la planta para la generación eléctrica más sustentable?, el resultado se obtuvo mediante la utilización del método de Análisis Jerárquico de Procesos, AHP.

Se eligió este método gracias a las ventajas que tiene sobre otros tipos de análisis de decisión¹⁴ :

- Presenta un sustento matemático.
- Permite desglosar y analizar un problema por partes.
- Permite la participación de diferentes personas o grupos de interés y genera un consenso.
- Permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos.
- Permite verificar el índice de consistencia y hacer correcciones, si es necesario.
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil aplicación y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

El problema y objetivos del análisis se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7. Esquematización de problemática

Método de Análisis AHP para plantas de generación sustentables	
Problema:	Contaminación del medio ambiente debido a la generación de electricidad.
Objetivo:	Determinar el tipo de planta más sustentable.
Alternativas:	Plantas de generación: Turbogas y ciclo combinado, diesel, vapor, carbboeléctrica, geotermoeléctrica, eoloeléctrica, nuclear, hidroeléctrica.
Indicadores:	Costo de generación, Fracción importada, Costo externalidades, Factor de planta.

Abreviatura de las centrales eléctricas analizadas:

T Turbogas y ciclo combinado
D Diesel

¹⁴ Análisis de expansión de sistemas eléctricos. M. Módulo 4. Análisis de Decisión, Cecilia Martín del Campo, Abril 2009.

- V Vapor (combustóleo)
- C Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)
- G Geotermoeléctrica
- E Eoloeléctrica
- N Nuclear
- H Generación hidroeléctrica

En la siguiente figura se muestran los criterios, indicadores y alternativas del estudio.

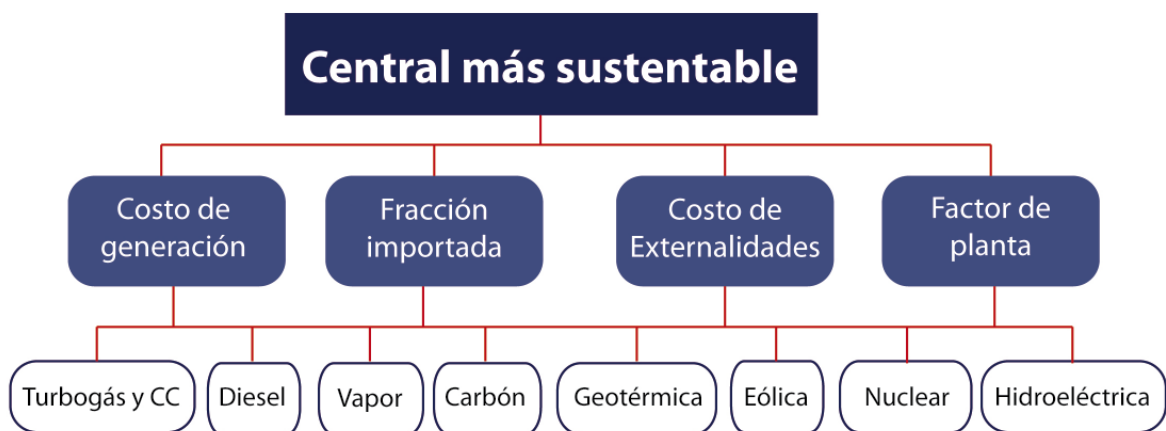


Figura 12. Esquema del método AHP

Costo de generación por tecnología:

Se analizará el costo de generación ya que además del cuidado del medio ambiente, la definición de sustentabilidad implica un bajo costo. En la siguiente tabla se muestra la tecnología y su correspondiente valor en pesos por Kwh.

Tabla 8. Costo de Generación por Tecnología

Tecnología	\$/Kwh
Turbogás y ciclo combinado	1.06
Diesel	4.81
Vapor (combustóleo)	1.06
Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)	0.67
Geotermoeléctrica	0.36

Eoloeléctrica	0.61
Nuclear	0.91
Generación hidroeléctrica	0.55

Fuente de información: Cédulas Trimestrales Costo Unitario por Proceso años 2000 - 2008. Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. Generación. 2008

El Costo de Generación incluye:

- Remuneraciones y prestaciones al personal
- Energéticos y Fuerza Comprada
- Mantenimiento y Servicios Generales por Contrato
- Materiales de Mantenimiento y Consumo
- Impuestos y Derechos
- Otros Gastos
- Costo de obligaciones laborales
- Depreciación
- Indirectos del Corporativo
- Aprovechamiento
- Costo Financiero

Nota: El incremento en el Costo Unitario se debe principalmente a que el Costo de Obligaciones Laborales tuvo un aumento muy significativo derivado de la circular No. XK000/GC-0199/08, referente a los cambios en el boletín D3 "Beneficios a los Empleados"

Fracción importada

La fracción importada es relevante en este estudio porque representa el grado de dependencia que se tiene de una tecnología, además es un parámetro para cuantificar el riesgo debido a la volatilidad de los precios de los combustibles o insumos necesarios para la generación eléctrica.

Tabla 9. Fracción importada. Precios medios 2007

Tecnología	Fracción importada
Turbogas y ciclo combinado	0.919
Diesel	0.913
Vapor (combustóleo)	0.336
Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)	0.456
Geotermoeléctrica	0.667

Eoloelétrica	0.667
Nuclear	0.422
Generación hidroeléctrica	0.279

Fuente de información: Cédulas Trimestrales Costo Unitario por Proceso años 2000 - 2008. Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. Generación. 2008

Externalidades

Las externalidades se definen como los costos ocasionados por efectos a la salud y al ambiente que re-sultan de la generación de electricidad.

Tabla 10. Externalidades

Tecnología	BAJO cEu/Kwh	ALTO cEu/Kwh
Turbogas y ciclo combinado	1.25	2.33
Diesel	4.4	7
Vapor (combustóleo)	4.4	7
Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)	4.08	7.33
Geotermoeléctrica	0.15	0.15
Eoloelétrica	0.125	0.166
Nuclear	0.39	0.39
Generación hidroeléctrica	0.38	0.48

Fuente: External Costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport <http://www.externe.info/externpr.pdf>

Factor de planta

El factor de planta nos indicará la capacidad a la que en promedio cada instalación genera electricidad. Nótese que se trata de la capacidad a la que se trabaja y no de la capacidad máxima de la planta.

Tabla 11. Factor de planta

Tecnología	Factor de planta
------------	---------------------

Turbogas y ciclo combinado	0.800
Diesel	0.650
Vapor (combustóleo)	0.650
Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)	0.800
Geotermoeléctrica	0.850
Eoloeléctrica	0.300
Nuclear	0.850
Generación hidroeléctrica	0.253-0.527

Fuente de información: Cédulas Trimestrales Costo Unitario por Proceso años 2000 - 2008. Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. Generación. 2008

Desarrollo método:

La tabla de valores considerados para el método se resume a continuación, el precio que se considerará para las externalidades en este estudio es el alto ya que se pretende considerar el peor de los casos.

Tabla 12. Valores de comparación

Tecnología	Costo Generación \$/Kwh	Fracción importada	Externalidades		Factor de planta
			BAJO cEu/Kwh	ALTO cEu/Kwh	
Turbogas y ciclo combinado	1.06	0.919	1.25	2.33	0.800
Diesel	4.81	0.913	4.4	7	0.650
Vapor (combustóleo)	1.06	0.336	4.4	7	0.650
Carboeléctrica y dual (Carbón y combustóleo)	0.67	0.456	4.08	7.33	0.800
Geotermoeléctrica	0.36	0.667	0.15	0.15	0.850
Eoloeléctrica	0.61	0.667	0.125	0.166	0.300
Nuclear	0.91	0.422	0.39	0.39	0.850
Generación hidroeléctrica	0.55	0.279	0.38	0.48	0.253-0.527

Matriz de comparaciones.

Selección de la planta más sustentable en términos de 4 indicadores: Costo de Generación (C.G.), Fracción importada, Costo de Externalidades (C.E.) y Factor de planta

Este método requiere de la elaboración de matrices de comparación de los indicadores considerados, de manera que se califican con la escala de Saaty 1/9-9.

Para determinar el grado de consistencia de la matriz a la que se le asignaron las prioridades, se hace el cálculo del índice de consistencia. Se considera una buena elección en los valores de los criterios si el índice de consistencia es menor a 0.1.

Cálculo del Índice de Consistencia de la matriz

Ecuación 1. Cálculo Consistencia

$$IC = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{i - \text{ésimo elemento en AwT}}{i - \text{ésimo elemento en wT}} \right) - n}{n - 1}$$

IC deberá ser menor de 0.1 para considerar válida a la matriz de prioridades.

Tabla 13. Índice Aleatorio de Consistencia

N° de Elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Matriz de criterios

Planta sustentable				
	C.G	Fracción importada	C.E	Factor de planta
C.G	1	2	1	4
Fracción importada	1/2	1	1/2	3
C.E	1	2	1	4
Factor de planta	1/4	1/3	1/4	1

Cálculo del Índice de Consistencia

A=	1	2	1	4
	1/2	1	1/2	3
	1	2	1	4
	1/4	1/3	1/4	1
suma	2,75	5,33	2,75	12,00

Anorm=	0.3636	0.3750	0.3636	0.3333	0.3589
	0.1818	0.1875	0.1818	0.2500	0.2003
	0.3636	0.3750	0.3636	0.3333	0.3589
	0.0909	0.0625	0.0909	0.0833	0.0819

		AW/W	
wi=	0.3589	0.2003	0.3589
	0.2003	0.3589	0.0819
	0.3589	0.0819	
	0.0819		
		Aw=	Σ=
		1.44602	16.08274037
		0.80492	4.029023747
		1.44602	4.01891253
		0.32813	4.029023747
			4.005780347

INDICE DE CONSISTENCIA

IC= 0.007

RAZÓN DE CONSISTENCIA

IC/IA= 0.008

Si IC/IA<0.1 es aceptable la consistencia

Para el cálculo del vector de prioridades de las alternativas se hizo una matriz de comparación por indicador y se tomó el valor obtenido en el vector de prioridades de cada uno de los indicadores.

Vector de prioridades de las Alternativas propuestas

ALTERNATIVAS				
PLANTA	C.G	F.I	C.E	F.P
T	1.06	0.919	2.33	0.8
D	4.81	0.913	7	0.65
V	1.06	0.336	7	0.65
C	0.67	0.456	7.33	0.8
G	0.36	0.667	0.15	0.85
E	0.61	0.667	0.166	0.3
N	0.91	0.422	0.39	0.85
H	0.55	0.279	0.48	0.527

Normalización: 1/9-9

Matriz Costo de Generación:

C.G	T	D	V	C	G	E	N	H
T	1	2	1	1/4	1/6	1/5	1/2	1/6
D	1/2	1	1/2	1/5	1/8	1/6	1/4	1/7
V	1	2	1	1/4	1/6	1/5	1/2	1/6
C	4	5	4	1	1/5	1/2	3	1/2
G	6	8	6	5	1	4	3	2
E	5	6	5	2	1/4	1	2	1/2
N	2	4	2	1/3	1/3	1/2	1	1/3
H	6	7	6	2	1/2	2	3	1
suma	25.500	35.000	25.500	11.033	2.742	8.567	13.250	4.810

$$C = \begin{vmatrix} 0.0392 & 0.0571 & 0.0392 & 0.0227 & 0.0608 & 0.0233 & 0.0377 & 0.0347 \\ 0.0196 & 0.0286 & 0.0143 & 0.0181 & 0.0456 & 0.0195 & 0.0189 & 0.0297 \\ 0.0392 & 0.0571 & 0.0286 & 0.0227 & 0.0608 & 0.0233 & 0.0377 & 0.0347 \\ 0.1569 & 0.1429 & 0.1143 & 0.0906 & 0.0729 & 0.0584 & 0.2264 & 0.1040 \\ 0.2353 & 0.2286 & 0.1714 & 0.4532 & 0.3647 & 0.4669 & 0.2264 & 0.4158 \\ 0.1961 & 0.1714 & 0.1429 & 0.1813 & 0.0912 & 0.1167 & 0.1509 & 0.1040 \\ 0.0784 & 0.1143 & 0.0571 & 0.0302 & 0.1216 & 0.0584 & 0.0755 & 0.0693 \\ 0.2353 & 0.2000 & 0.1714 & 0.1813 & 0.1824 & 0.2335 & 0.2264 & 0.2079 \end{vmatrix} = \begin{matrix} \text{prom} \\ 0.0393 \\ 0.0243 \\ 0.0380 \\ 0.1208 \\ 0.3203 \\ 0.1443 \\ 0.0756 \\ 0.2048 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 0.3103 & 7.8862 \\ 0.1994 & 8.2119 \\ 0.3103 & 8.1622 \\ 1.0170 & 8.4195 \\ 2.7962 & 8.7299 \\ 1.2520 & 8.6760 \\ 0.6149 & 8.1332 \\ 1.7560 & 8.5755 \end{vmatrix}$$

prom= 8.3493

IC= 0.0499

RC= 0.0356

Matriz de Fracción importada:

F.I	T	D	V	C	G	E	N	H
T	1	1/2	1/7	1/5	1/4	1/4	1/6	1/8
D	2	1	1/6	1/4	1/3	1/3	1/5	1/7
V	7	6	1	3	5	5	2	1/2
C	5	4	1/3	1	3	3	1/2	1/4
G	4	3	1/5	1/3	1	1	1/4	1/6
E	4	3	1/5	1/3	1	1	1/4	1/6
N	6	5	1/2	2	4	4	1	1/3
H	8	7	2	4	6	6	3	1
suma	37.000	29.500	4.543	11.117	20.583	20.583	7.367	2.685

$$C = \begin{pmatrix} 0.0270 & 0.0169 & 0.0314 & 0.0180 & 0.0121 & 0.0121 & 0.0226 & 0.0466 \\ 0.0541 & 0.0339 & 0.0056 & 0.0225 & 0.0162 & 0.0162 & 0.0271 & 0.0532 \\ 0.1892 & 0.2034 & 0.0339 & 0.2699 & 0.2429 & 0.2429 & 0.2715 & 0.1863 \\ 0.1351 & 0.1356 & 0.0113 & 0.0900 & 0.1457 & 0.1457 & 0.0679 & 0.0931 \\ 0.1081 & 0.1017 & 0.0068 & 0.0300 & 0.0486 & 0.0486 & 0.0339 & 0.0621 \\ 0.1081 & 0.1017 & 0.0068 & 0.0300 & 0.0486 & 0.0486 & 0.0339 & 0.0621 \\ 0.1622 & 0.1695 & 0.0169 & 0.1799 & 0.1943 & 0.1943 & 0.1357 & 0.1242 \\ 0.2162 & 0.2373 & 0.0678 & 0.3598 & 0.2915 & 0.2915 & 0.4072 & 0.3725 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \text{prom} \\ 0.0234 \\ 0.0286 \\ 0.2050 \\ 0.1031 \\ 0.0550 \\ 0.0550 \\ 0.1471 \\ 0.2805 \end{matrix} = \begin{matrix} 0.1746 \\ 0.2414 \\ 1.8335 \\ 0.8761 \\ 0.4481 \\ 0.4481 \\ 1.2722 \\ 2.5909 \end{matrix} \begin{matrix} 7.4750 \\ 8.4390 \\ 8.9446 \\ 8.5011 \\ 8.1515 \\ 8.1515 \\ 8.6464 \\ 9.2372 \end{matrix}$$

prom 8.4433

IC= 0.0633

RC= 0.0452

Matriz de Costos de Externalidades:

C.E.	T	D	V	C	G	E	N	H
T	1	4	4	3	1/9	1/8	1/6	1/5
D	1/7	1	1	2	1/8	1/7	1/6	1/5
V	1/7	1	1	2	1/8	1/7	1/6	1/5

C	1/7	1/2	1/2	1	1/9	1/8	1/6	1/5
G	5	6	6	9	1	2	3	4
E	4	5	5	8	1/2	1	2	3
N	3	6	6	7	1/4	1/3	1	2
H	4	5	5	6	1/4	1/3	1/2	1
suma	17.429	28.500	28.500	38.000	2.472	4.202	7.167	10.800

$$C = \begin{pmatrix} 0.0574 & 0.1404 & 0.1404 & 0.0789 & 0.0449 & 0.0297 & 0.0233 & 0.0185 \\ 0.0082 & 0.0351 & 0.0351 & 0.0526 & 0.0506 & 0.0340 & 0.0233 & 0.0185 \\ 0.0082 & 0.0351 & 0.0351 & 0.0526 & 0.0506 & 0.0340 & 0.0233 & 0.0185 \\ 0.0082 & 0.0175 & 0.0175 & 0.0263 & 0.0449 & 0.0297 & 0.0233 & 0.0185 \\ 0.2869 & 0.2105 & 0.2105 & 0.2368 & 0.4045 & 0.4759 & 0.4186 & 0.3704 \\ 0.2295 & 0.1754 & 0.1754 & 0.2105 & 0.2022 & 0.2380 & 0.2791 & 0.2778 \\ 0.1721 & 0.2105 & 0.2105 & 0.1842 & 0.1011 & 0.0793 & 0.1395 & 0.1852 \\ 0.2295 & 0.1754 & 0.1754 & 0.1579 & 0.1011 & 0.0793 & 0.0698 & 0.0926 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \text{prom} \\ 0.0667 \\ 0.0322 \\ 0.0322 \\ 0.0233 \\ 0.3268 \\ 0.2235 \\ 0.1603 \\ 0.1351 \end{matrix} = \begin{matrix} 0.5118 & 7.6745 \\ 0.2469 & 7.6755 \\ 0.2469 & 7.6755 \\ 0.1829 & 7.8658 \\ 2.7240 & 8.3362 \\ 1.8874 & 8.4449 \\ 1.3356 & 8.3311 \\ 1.0994 & 8.1359 \end{matrix}$$

prom= 8.0174

IC= 0.0025

RC= 0.0018

Matriz de Factor de planta:

F.P	T	D	V	C	G	E	N	H
T	1	4	4	1	1/2	6	1/2	3
D	1/4	1	1	1/4	1/6	5	1/6	2
V	1/4	1	1	1/4	1/6	5	1/6	2
C	1	4	4	1	1/2	6	1/2	3
G	2	6	6	2	1	6	1	6
E	1/6	1/5	1/5	1/6	1/6	1	1/7	1/3
N	2	6	6	2	1	7	1	6
H	1/3	1/2	1/2	1/3	1/6	3	1/6	1
suma	7.000	22.700	22.700	7.000	3.667	39.000	3.643	23.333

$$C = \begin{pmatrix} 0.1429 & 0.1762 & 0.1762 & 0.1429 & 0.1364 & 0.1538 & 0.1373 & 0.1286 \\ 0.0357 & 0.0441 & 0.0441 & 0.0357 & 0.0455 & 0.1282 & 0.0458 & 0.0857 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \text{prom} \\ 0.1493 \\ 0.0581 \end{matrix} = \begin{matrix} 1.2958 & 8.6810 \\ 0.4833 & 8.3212 \end{matrix}$$

$$\begin{array}{cccccccc|c|cc}
 0.0357 & 0.0441 & 0.0441 & 0.0357 & 0.0455 & 0.1282 & 0.0458 & 0.0857 & 0.0581 & 0.4833 & 8.3212 \\
 0.1429 & 0.1762 & 0.1762 & 0.1429 & 0.1364 & 0.1538 & 0.1373 & 0.1286 & 0.1493 & 1.2958 & 8.6810 \\
 0.2857 & 0.2643 & 0.2643 & 0.2857 & 0.2727 & 0.1538 & 0.2745 & 0.2571 & 0.2573 & 2.2169 & 8.6166 \\
 0.0238 & 0.0088 & 0.0088 & 0.0238 & 0.0455 & 0.0256 & 0.0392 & 0.0143 & 0.0237 & 0.1914 & 8.0662 \\
 0.2857 & 0.2643 & 0.2643 & 0.2857 & 0.2727 & 0.1795 & 0.2745 & 0.2571 & 0.2605 & 2.2407 & 8.6017 \\
 0.0476 & 0.0220 & 0.0220 & 0.0476 & 0.0455 & 0.0769 & 0.0458 & 0.0429 & 0.0438 & 0.3589 & 8.1962 \\
 \hline
 & & & & & & & & & \text{prom=} & 8.4356
 \end{array}$$

IC= 0.0622

RC= 0.0445

Vector de prioridades de alternativas				
PLANTA	C.G	F.I	C.E	F.P
T	0.039	0.023	0.067	0.149
D	0.024	0.029	0.032	0.058
V	0.038	0.205	0.032	0.058
C	0.121	0.103	0.023	0.149
G	0.320	0.055	0.327	0.257
E	0.144	0.055	0.223	0.024
N	0.076	0.147	0.160	0.260
H	0.205	0.280	0.135	0.044

Para finalizar con el análisis se multiplica el vector de prioridades de las alternativas por el vector obtenido de los criterios en razón de la búsqueda del plan más sustentable:

T 0.055
 D 0.031
 V 0.071
 C 0.085
G 0.264
 E 0.145
 N 0.135
 H 0.182

Los resultados nos muestran la siguiente jerarquía de plantas según los indicadores considerados:

1. Geotermoeléctrica
2. Hidroeléctrica
3. Eoloeléctrica
4. Nuclear
5. Carboeléctrica
6. Vapor (combustóleo)
7. Turbogas y Ciclo combinado
8. Diesel

Como se observa en el vector obtenido, el valor de G que corresponde al de la central geotermoeléctrica es de acuerdo a los indicadores especificados en este análisis el que mejor cumple con los requerimientos, es decir el más sustentable. Nótese que para encontrar valores más reales y más precisos es necesario considerar más indicadores como por ejemplo el tiempo de vida de las plantas, el tiempo de años para su construcción y la disponibilidad de los recursos o combustibles que necesita la planta para su operación.

Para garantizar la seguridad energética es necesario diversificar los planes de expansión del sistema eléctrico considerando especialmente las centrales cuya generación además de depender menos del extranjero, sea menos agresiva con el ambiente y que posea el costo de generación más barato.

B i b l i o g r a f í a

Capítulo 1. Cambio climático

1. Schwartz y Randall (2003), "An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security" http://www.ems.org/climate/pentagon_climate_change.html
2. Stern Review: The Economics of Climate Change (2006). http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm
3. IPCC Fourth Assessment Report (AR4), "Climate Change 2007", <http://www.ipcc.ch/>
4. UNEP, The Global Environment Outlook: GEO-4 (2007). <http://www.unep.org/geo/geo4/media/>
5. Mecanismos de Desarrollo Limpio <http://www.bsigroup.com.mx/es-mx/Auditoria-y-Certificacion/Sistemas-de-Gestion/Normas-y-estandares/Mecanismo-de-Desarrollo-Limpio/>
6. Desarrollo y cambio climático, Marco estratégico para el Grupo del Banco Mundial

Capítulo 2. Cenit del petróleo

7. New GAO Peak Oil Report Provides Urgent Call to Action: U.S. Vulnerable and the Government Unprepared for Unacceptably High Risks of Oil Supply Shock, Congress of the United States, March 29, 2007
8. Learn strengths, weaknesses to understand Hubbert curve, Jean H. Laherrère, Oil & Gas Journal, April 17, 2000
9. Energy Security In Mexico: Problems and Implications, Jude Clemente, October 2008
10. Shaping the peak of world oil production, Robert L. Hirsch, SAIC, October 2005
11. The market reacts to peak oil, Michael C. Ruppert & Michael Kane, 2006
12. Letters: Oil Shock, <http://foreignpolicy.com>, January/February 2008
13. The Energy Secret-Understanding what drives the 21st century and why peak oil really matters, Julian Darley, September 2008
14. The only way is down, The Economist, July 2008
15. The 10 big energy myths, Chris Goodall, November 2008
16. The end of the oil age, Richard Heinberg, 2003
17. Uninvited Observations, Kjell Aleklett, Oil & Gas Journal, March 03, 2008
18. Slight Majority of U.S. Energy CFOs Disagree that world has reached peak oil, Stephen Payne, Jan 13, 2009
19. Science & Public Affairs, December 2008
20. Under strains of Peak oil and gas ideology stretches to the limit, Jamey Hecht, January 2006
21. The peak oil debate: Crisis or comedy?, Matthew R. Simmons, Houston Texas, September 27 2004
22. Reserve Growth: Technological Progress, or bad reporting and bad arithmetic?, J.H. Laherrère, Geopolitics of Energy, Issue 22 no. 4, p7-16, April 1999
23. Peak Oil, an Introduction, Mike Tooke, Power Switch,
24. The Real New Deal, Energy Scarcity and the path to energy, economic, and environmental recovery, Post Carbon Institute, December 2008
25. <http://odac-info.org/peak-oil-primer>
26. Oil's End, Timothy Egan, The New York Times, March 5, 2008

27. Twilight in the desert: The fading of Saudi Arabia's Oil, Matthew R. Simmons, Hudson Institute, September 9, 2004
28. The link between oil and xenophobia, Simon Radcliffe, June 25, 2008
29. Why our food is so dependent to oil?, Norman Church, Power Switch Energy, April 2005
30. Global oil supply will peak in 2020, says energy agency, Terry Macalister and George Monbiot, The Guardian, Monday 15 December 2008
31. Preparing for Peak oil, by The Oil Depletion Analysis Centre and Post Carbon Institute, 2008
32. Prospectiva del Petróleo Crudo 2008-2017, SENER
33. Has production peaked? Bulls and bears duel over supply, David Brown, Explorer, May 2000
34. Comment: Just how much oil does the Middle East really have, and does it matter?, Collin J. Campbell, Oil & Gas Journal April 04, 2005
35. Another peak oil prediction comes true, Britain Surrenders Energy Sovereignty, Michael C. Ruppert, The Wilderness Publications, 2006
36. All for Oil, Bill Henderson, November 26, 2004
37. The Inevitable Peaking of World Oil Production, Robert L. Hirsch, The Atlantic Council of the United States, October 2005
38. Are we running on empty, Fred K. Duennebier, September 28, 2008
39. "Peak Oil Is Not A Theory", Michael Kane with Jamey Hecht, The Wilderness Publications, 2005
40. http://www.energiaadebate.com.mx/Articulos/diciembre_2006/nuclear_carbon.htm
41. <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/gea/VENTAJAS.html>
42. <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/4/biodiesel.pdf>
43. http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_622_energia_de_la_biomasa#
44. <http://www.portalenergia.es/informacion/energia/mareomotriz/ventajasYDesventajasEnergiaMareomotriz.jsp>
45. http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/desarrollo/ferrari_finpetr_18_03_09.pdf
46. http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_retorno_energ%C3%A9tico
47. www.cie.unam.mx/~rbb/PRESENTACION_DE_SAUL.ppt
48. <http://www.imf.org>
49. <http://www.cfe.gob.mx/es/>
50. <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
51. http://es.wikipedia.org/wiki/Alcohol_et%C3%ADlico
52. <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>
53. <http://boletin.imt.mx/muestraRes.php?id=359&t=nt>

Capítulo 3. Desregulación de la electricidad

54. AIE (2005), "Lessons from liberalised electricity markets, <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/lessons2005.pdf>
55. AIE (2005). "Learning from the blackouts" <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/blackout2005.pdf>
56. <http://www.iie.org.mx/publica/bolso98/tenso98.htm>
57. http://www.iiec.unam.mx/notiiec/notiiec_081102.htm
58. http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num_anteriores/Vol.IX_No.I_1ersem/HR_Vol.9_

No.I_1sem.pdf

59. <http://ierd.prd.org.mx/publi/VR1.pdf>

60. "Behind The Blackouts", Tyson Slocum, July 28, 2006, http://www.tompaine.com/articles/2006/07/28/behind_the_blackouts.php

61. "Electricity deregulation is a win for Pennsylvania", Elizabeth Bryan, April 09, 2009, http://www.pennlive.com/editorials/index.ssf/2009/04/electricity_deregulation_is_a.html

62. "It's Greed Stupid! Debunking the Ten Myths of Utility Deregulation", Wenonah Hauter and Tyson Slocum, Public Citizen's Critical Mass Energy and Environment Program, January 2001