

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Columna vertebral de la nueva generación eléctrica sustentable
y factor decisivo hacia la independencia energética

Trabajo de tesina que presenta

JOSÉ ALFREDO MORALES GÓMEZ

para obtener el grado de

LICENCIADO EN ECONOMÍA

Asesor

DR. BENJAMÍN GARCÍA PÁEZ

Los Ángeles, California.
Septiembre del 2011



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.

Índice

Síntesis	[5]
Introducción	[11]
Capítulo 1. Situación Actual del Sector Energético Mundial	[13]
1.1. Modelo Energético Mundial.	
1.1.1. Antecedentes.	
1.1.2. Funcionamiento.	
1.1.3. Principales fuentes de energía.	
1.1.3.1. Petróleo.	
1.1.3.2. Gas natural.	
1.1.3.3. Carbón.	
1.2. Casos Particulares.	
1.2.1. Estados Unidos - China.	
1.2.2. Rusia - México.	
1.2.3. Brasil - Francia.	
1.3. Importancia del Sector Energético.	
1.4. Principales Problemas del Modelo Energético.	
1.4.1. Contaminación ambiental.	
1.4.2. Dependencia energética.	
Capítulo 2. Política Económica del Sector Energético	[33]
2.1. Antecedentes.	
2.2. Políticas Energéticas.	
2.2.1. Protocolo de Kioto.	
2.2.2. Unión Europea.	
2.3. Globalización y Sistemas Energéticos.	
2.3.1. Algunas experiencias internacionales.	
2.3.1.2. Brasil.	
2.3.1.3. Sudáfrica.	
2.3.2. El caso de México.	
2.3.2.1. Legalidad de la inversión.	
2.3.2.2. Operación de los productores privados.	
2.3.2.3. Tecnología utilizada.	

Capítulo 3. Propuesta Alternativa al Actual Modelo de Energía [51]

- 3.1. Cambios por el lado de la Oferta Energética. Producción Geotérmica.
 - 3.1.1. Energía Geotérmica
 - 3.1.1.1. Origen.
 - 3.1.1.2. Aplicaciones
 - 3.1.2. Generación Eléctrica por Fuente Geotérmica.
 - 3.1.2.1. Tipos de Sistemas.
 - 3.1.2.2. Potencial Geotérmico.
 - 3.1.2.3. Desarrollo Tecnológico.
 - 3.1.3. Explotación Geotérmica en México.
 - 3.1.3.1. Antecedentes.
 - 3.1.3.2. Plantas Actuales y Potencial.
 - 3.1.3.3. Evaluación de Resultados.
- 3.2. Cambios por el lado de la Demanda Energética. Uso Racional de la Energía.
 - 3.2.1. Industria del Transporte.
 - 3.2.2. Industria Petrolera.
- 3.3. Viabilidad Económica.
 - 3.3.1. Proyecciones.
 - 3.3.2. Fuentes de financiamiento.

Conclusiones [81]

Bibliografía [85]

Apéndice Estadístico [89]

Agradecimientos [99]

Síntesis

El modelo de generación energética a nivel mundial está basado en el uso de combustibles no renovables: petróleo, gas natural y carbón. Para el año 2008, estas fuentes fósiles generaban el 81% del total de la oferta mundial de energía, frente a un 6% de nuclear y el restante 13% de otras como la hidráulica.

La importancia del sector energético en todo sistema económico está marcada por la estrecha relación que existe entre el nivel de consumo de energía de una economía y el tamaño de la misma. A mayor crecimiento económico mayor consumo de energía. Por mencionar un ejemplo, en economías desarrolladas como Japón, Alemania o Francia el consumo per cápita de energía es 2.4 veces mayor al promedio mundial o usando otra referencia, 3 veces mayor que el consumo per cápita en China.

Por lo que en la medida en que las economías subdesarrolladas avancen en su proceso de crecimiento económico –muchas de ellas a ritmos superiores al promedio mundial- su consumo per cápita y total de energía aumentará en consecuencia. Lo que incrementará las presiones por encontrar y explotar más fuentes fósiles de energía, dado el patrón energético actual.

Esto complicará aún más la problemática del sector energético mundial, debido a que la curva de la oferta internacional de fuentes fósiles está por entrar en su fase decreciente -por tratarse de recursos no renovables-. Aumentando los efectos nocivos que el consumo de combustibles fósiles tiene sobre el medio ambiente y sobre la salud financiera de todo sistema económico.

En materia ambiental, el 99.6% de las 30 mil millones de toneladas métricas de CO₂ generadas a nivel mundial en el año 2008 fueron producto de la quema de combustibles fósiles –principalmente del carbón y petróleo-. Lo que ha elevado la concentración de este gas de efecto invernadero a niveles sin precedente en los

últimos 500 mil años. Por lo que se perfila como el principal responsable del paulatino incremento en la temperatura a nivel mundial con consecuencias devastadoras en el largo plazo para los diferentes ecosistemas que habitan el planeta.

Por el lado financiero, el patrón de uso intensivo de fuentes fósiles aunado al hecho de que se trata de recursos no renovables, se ha traducido en que cada día sean más los sistemas económicos que tengan que depender de importaciones de energéticos para satisfacer su demanda doméstica. El 65% de las cuarenta mayores economías en el mundo son deficitarias energéticamente hablando; 75% si reducimos la muestra a las principales veinte economías; y 90% si consideramos sólo a las diez más grandes. Lo que se traduce en transferencias netas de recursos a favor de las pocas economías con superávit energético, como son los grandes productores de petróleo y de gas natural.

De ahí la necesidad urgente de revisar el actual modelo de generación energético en el mundo y de empezar a planificar la transición hacia un nuevo modelo sustentable en el largo plazo que no reproduzca los problemas de contaminación ambiental y dependencia energética.

Dicho proceso de cambio –aunque evidente- ha sido postergado por la enorme red de intereses económicos creados que subyacen en el actual modelo energético mundial. Donde las premisas de sustentabilidad, limpieza y autonomía energética han sido borradas del mapa económico por la urgencia de maximizar la tasa de ganancia de corto plazo que caracteriza al sistema capitalista. La tasa de ganancia de los grandes consorcios industriales y financieros para ser exactos. Consorcios que aprovechando su inmenso poder financiero y político utilizan a organismos internacionales –como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional- para influir en la elaboración de políticas económicas nacionales -con el apoyo de las oligarquías locales- que favorezcan sus intereses.

Por lo que sólo con la participación colectiva de la sociedad, mediante una mayor difusión de la problemática que el actual modelo energético trae consigo y su concientización en la materia, será posible emprender un verdadero cambio hacia un modelo energético sustentable en el largo plazo.

Este nuevo modelo energético implicará un profundo cambio en las formas en que generamos y consumimos la energía en la actualidad. De donde destacan dos piezas fundamentales para concretizar su cambio.

El primer elemento a modificar por el lado de la oferta energética, son las fuentes mismas de donde obtenemos actualmente la energía. Se debe abandonar los combustibles fósiles para concentrarse en el aprovechamiento de las fuentes renovables y limpias que han existido siempre a nuestro alrededor como la energía solar, la del viento -pero sobre todo- la energía geotérmica almacenada en la corteza terrestre.

La existencia de fuentes térmicas en el subsuelo está íntimamente ligada a la estructura misma de la Tierra, a las placas tectónicas, a la actividad volcánica y a la profundidad a que se pueda llegar en su extracción –que actualmente va de 3 a 10 kilómetros- por lo que cualquier economía en el mundo cuenta con reservas térmicas en abundancia sin importar su ubicación en el Globo Terrestre.

Con el nivel tecnológico actual se podría extraer del subsuelo suficiente energía para satisfacer la demanda mundial de los siguientes tres mil años, cuando menos. Lo que la convierte en una fuente sustentable en el largo plazo. El aprovechamiento de estas fuentes geotérmicas implicaría en los hechos una verdadera revolución energética que daría autosuficiencia a todos los sistemas económicos que fueran capaces de aprovecharla.

El uso de plantas geotérmicas cuenta ya con una experiencia centenaria a nivel mundial. Por lo que la tecnología que se utiliza en el aprovechamiento de estas fuentes es de uso comercial desde hace ya muchos años y es considerada una tecnología madura para la generación de electricidad. En México por ejemplo, se comenzó a explotar la energía geotérmica desde mediados de los 50's, llegando a ocupar el tercer lugar mundial en la producción de energía eléctrica por esta fuente.

En materia ambiental, los sistemas geotérmicos modernos son prácticamente limpios de emisiones contaminantes si se les compara con las actuales plantas de generación por carbón, gas natural o petróleo.

Basar un sistema energético en la energía que almacena el subsuelo – complementada con el aprovechamiento de la energía solar y del viento- es el primer gran paso en la construcción de un nuevo modelo sustentable en el largo plazo. La demanda por carbón, gas natural y petróleo tendería a desaparecer en lo que se refiere a la producción de energía eléctrica.

El segundo requisito para construir un nuevo modelo energético a nivel mundial, pasa por modificar de fondo el lado de la demanda energética. O de la forma en que se consume la energía en la actualidad.

El principal consumidor de crudo en el mundo es la industria del transporte. Son los más de 800 millones de vehículos automotores que circulan a lo largo y ancho del planeta los que consumen el 60% de la oferta mundial de petróleo. ¿Qué pasaría si esa planta vehicular dejara de consumir las millones de toneladas de crudo y empezara a consumir la electricidad que de forma sustentable se produjese en las plantas geotérmicas?

La sustitución de la máquina de combustión interna por motores eléctricos es entonces la segunda premisa en que se sustenta este nuevo modelo energético. El petróleo dejaría de ser quemado en los vehículos automotores para dar paso a un mejor aprovechamiento del mismo en la producción de petroquímicos y sus derivados y en la generación de cadenas productivas de mayor valor agregado.

Los avances tecnológicos en el almacenamiento de electricidad permiten ahora la producción masiva de vehículos eléctricos a precios equiparables a aquellos que consumen combustibles fósiles. Por lo que no existen barreras tecnológicas insalvables para su producción masiva a nivel mundial.

Por el lado de las fuentes de financiamiento para llevar a cabo la transformación del actual modelo energético, las reservas de jubilación son –por la magnitud del monto y su horizonte de inversión- las más adecuadas para financiar los programas de inversión que implican los cambios propuestos.

Desafortunadamente el elemento clave para la implementación de esta nueva ecuación energética es el más escaso: la voluntad política para llevarlo a la práctica. No hay compromiso ni voluntad de parte de las autoridades nacionales o

internacionales en la materia para definir los pasos y plazos necesarios para su implementación.

Por ello se puede afirmar que sólo la acción colectiva de la sociedad podrá llevar a cabo estos cambios que se antojan urgentes y que a todas luces reportarían un enorme beneficio económico, financiero, ambiental y social para esta y las futuras generaciones.

Introducción

La discusión teórica sobre el tema del crecimiento económico ha girado tradicionalmente sobre premisas tales como el nivel de inversión, ahorro, innovación tecnológica, entre otras. Sin embargo, resulta interesante incluir en la discusión la importancia que tiene el modelo de generación energética no solo doméstico, sino mundial como uno de los determinantes del crecimiento material de todo sistema económico.

El vínculo entre crecimiento económico y consumo de energía obedece a una premisa económica básica que establece que a mayor creación y uso de satisfactores materiales, corresponde una mayor necesidad de energía para su transformación, transportación y uso de los bienes y servicios que toda economía moderna demanda.

El modelo de producción energética imperante en el mundo -sustentado en el uso de fuentes fósiles- ha generado problemas mayúsculos como la contaminación del medio ambiente y la dependencia energética, con todas sus implicaciones económicas y financieras.

El objetivo general de este trabajo es el de enfatizar la necesidad de un cambio energético hacia fuentes de generación sustentable en el largo plazo, que armonice en uno sólo los objetivos de limpieza ambiental, disponibilidad universal y factibilidad financiera. Mediante el cual sea posible romper el círculo vicioso de crecimiento económico - contaminación ambiental - dependencia energética.

La hipótesis de la investigación sostiene que los recursos geotérmicos están llamados a ser la columna vertebral de la nueva generación de energía eléctrica, ya que es la única fuente que -por su características técnicas- satisface los requisitos básicos de sustentabilidad en la producción eléctrica en el largo plazo, y que son: disponibilidad -porque toda economía cuenta con enormes reservas-, confiabilidad -

porque la generación es constante las 24 horas del día, los 365 días del año-, limpieza –porque la afectación del medio ambiente es insignificante si se le compara con el uso de fuentes fósiles- y competitividad financiera –porque el costo de generación es igual o menor al de fuentes fósiles-.

Para arribar a esta conclusión, se comenzará por analizar en el capítulo uno la situación que guarda el sector energético a nivel mundial haciendo hincapié en sus principales problemas. En el capítulo dos se analizará por qué este modelo energético sigue en funcionamiento a pesar de la problemática que genera y cuáles son las principales interpretaciones teórico-económicas existentes en la materia. Para finalmente en el capítulo tres presentar una propuesta alternativa al modelo energético actual y su viabilidad económica y financiera.

Si bien el llamado urgente para modificar las formas mediante las cuales se obtiene la energía en el mundo actual ha sido ya subrayado por la comunidad científica a nivel mundial, el planteamiento de usar a la energía geotérmica como columna vertebral del nuevo sector energético mundial enfatizando que el uso generalizado de autos eléctricos debe ser su complemento indispensable, es un planteamiento del que suscribe por lo que tomo plena responsabilidad por los comentarios y conclusiones aquí vertidos.

CAPÍTULO 1

Situación Actual del Sector Energético Mundial

Describir y analizar la situación que guarda el sector energético a nivel mundial son requisitos fundamentales para entender su complejidad y problemática. En este capítulo se define lo que se entiende por *Modelo Energético Mundial* y cómo está constituido, para luego comentar en forma particular los sistemas energéticos de Estados Unidos, China, Rusia, México, Brasil y Francia que son muestras representativas del conjunto de sistemas energéticos existentes en la actualidad.

Igualmente se analiza la importancia que ocupa el sector energético en todo sistema económico, de donde se afirma que existe una relación directa entre tamaño de la economía y su nivel de consumo de energía. Con esta información se estará en posibilidad de analizar los dos principales problemas intrínsecos al modelo energético mundial y que son la contaminación del medio ambiente -vía la generación de bióxido de carbono- y la dependencia energética y financiera -debido al uso de fuentes no renovables-.

1.1. Modelo Energético Mundial

La creación y desarrollo del modelo de producción de energía a nivel mundial responde principalmente a dos variables: a la disponibilidad física de los recursos energéticos y al nivel tecnológico alcanzado por cada sociedad. Bajo dichas premisas cada sistema económico satisface sus necesidades energéticas.

1.1.1. Antecedentes

Hasta antes de 1973, la disponibilidad física de los hidrocarburos –principalmente petróleo- no representaba gran obstáculo para las economías desarrolladas. El petróleo y el gas natural -que generaban cerca las dos terceras partes de la oferta energética mundial (cuadro 1)- fluían de manera armoniosa de los diferentes puntos de producción en los países periféricos -como los del Golfo Pérsico- a los grandes centros de refinación y consumo del primer mundo.

Luego de la primera crisis petrolera de 1973¹, y con el fortalecimiento del cartel de productores de petróleo (OPEP), comenzaron a producirse importantes fluctuaciones en el precio internacional del crudo. Poniendo al descubierto la vulnerabilidad que este modelo de generación energético basado en el uso de fuentes fósiles representaba y sigue representando para todas las economías del mundo.

Las naciones desarrolladas no petroleras, comenzaron a invertir en métodos alternativos -principalmente en la generación de electricidad- que sustituyeran el uso de combustibles fósiles. Impulsando con ello la innovación y el uso de nuevas tecnologías en el sector energético. De ahí que la producción eléctrica por fuente nuclear por ejemplo experimente un crecimiento sin precedente (cuadro 1) luego de la primera gran crisis petrolera de 1973.

1.1.2. Funcionamiento

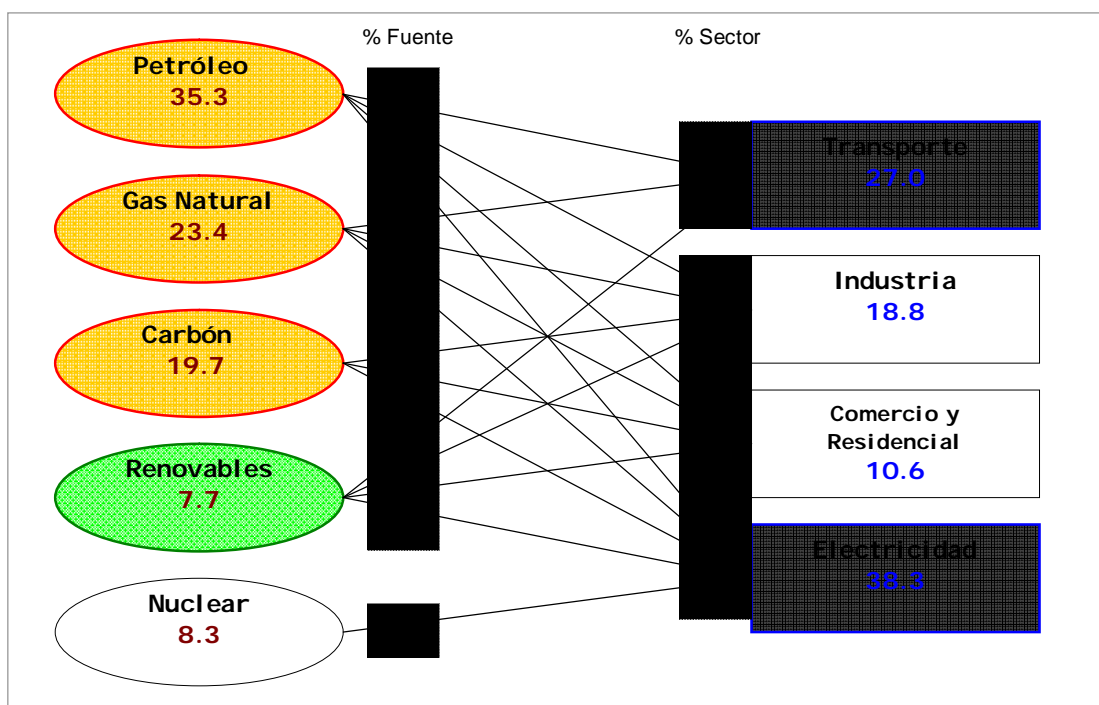
Todo sistema de generación de energía puede y debe ser descrito en dos niveles: por el origen de sus fuentes y por el destino o uso final que se hace de esa energía. La mejor manera de ilustrar cómo se interrelacionan estas dos grandes áreas -que dan forma a todo modelo energético moderno- es observando el detalle del origen de

¹ El 6 de octubre de 1973, Egipto y Siria atacan militarmente a Israel, iniciando la llamada Guerra de Yom Kippur. El precio del crudo -el ligero Iraní, por ejemplo- al cierre de 1973 sube de \$2.11 dólares por barril a \$10.63 para diciembre del siguiente año: 404%, la variación porcentual mas abrupta de por lo menos los últimos cuarenta años. El cuadro completo de precios puede ser consultado en el Anexo Estadístico.

las fuentes energéticas de Estados Unidos y su destino por sector económico (gráfica 1).

Como se puede apreciar, el petróleo ocupa el primer lugar de las fuentes energéticas de Estados Unidos con cerca del 38% del total. Siendo el sector del transporte quien consume el 72% de ese energético, seguido muy de lejos por el sector industrial con un 22%.

Gráfica 1. Fuente y Destino de la Energía en Estados Unidos, 2009.
(en miles de billones –quadrillion- de Btu's)



Fuente: Energy Information Administration.

El gas natural -segunda fuente de energía con un 25% del total- se destina en partes casi idénticas a satisfacer la necesidad de los sectores industrial, comercio-residencial y para la generación de energía eléctrica. Mientras que casi la totalidad de la tercera fuente de energía -el carbón, con un 21% del total- se destina exclusivamente a la producción de electricidad, convirtiéndose con ello en la principal fuente de generación eléctrica (48%), seguida muy de lejos por la nuclear (22%) y el gas natural (18%).

Una estructura energética similar a ésta puede ser observada en todas las economías del planeta, con no muy significativas variaciones. Por ello es posible hablar de un *Modelo Energético Mundial* ya que todos los sistemas energéticos del mundo en menor o en mayor medida tienden a reproducir este mismo patrón de origen de las fuentes y una estructura similar de consumo (cuadro 1). Por lo que se puede concluir que la columna vertebral del modelo energético está basada en el uso de combustibles fósiles.

Cuadro 1. Oferta Mundial de Energía (%)

	1973	2008	var. %
Petróleo	46.1	33.2	(28)
Carbón	24.5	27.0	10
Gas	16.0	21.1	32
Nuclear	0.9	5.8	544
Renovables	12.5	12.9	3
Oferta Mundial *	6,115	12,267	101

* Equivalente a Millones de Toneladas de Petróleo Equivalente.

Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA-a, p 6).

1.1.3. Principales fuentes de energía

El 85% de la oferta total de energía de Estados Unidos proviene del uso de combustibles fósiles: petróleo, gas natural y carbón. Patrón de comportamiento seguido por el mundo entero, donde para el 2008 se reportaba una dependencia del 81% de estas mismas fuentes fósiles de energía (cuadro 1). El uso de gas natural y carbón han experimentado un crecimiento importante como fuentes de energía, que le han restado peso relativo al uso del petróleo como la fuente máxima de generación energética. Mientras que la participación porcentual de la generación de energía por fuentes renovables –principalmente hidroeléctrica- se ha mantenido relativamente constante en estas últimas cuatro décadas.

Las fuentes fósiles de energía sobrepasan por mucho a la energía generada por fuentes renovables y sustentables –incluso si dentro de ellas se considera a la

nuclear-. Esta profunda dependencia mundial al uso de fuentes fósiles de energía amerita al menos una breve descripción de cada una de ellas.

1.1.3.1. Petróleo

El petróleo es un líquido inflamable de consistencia viscosa, formado en el subsuelo -a profundidades promedio de 5 kilómetros- por efecto de presión-calentamiento sobre grandes depósitos sedimentarios de materia orgánica. Químicamente está compuesto de alrededor de 85% de carbón, 12% de hidrógeno y una presencia marginal de otros elementos como el nitrógeno, oxígeno y sulfuro, elementos estos últimos que determinan su grado de pureza al momento de su extracción. Debido a la variedad y formación de los sedimentos orgánicos que en tiempo y espacio le dieron forma, cada reserva petrolífera en el mundo tiene una composición molecular distinta. Por lo que existen diferentes tipos de crudo en el mundo y que se clasifican por su grado de densidad².

El *petróleo ligero* -financieramente el más rentable para su extracción y comercialización- tan sólo representa un tercio de la reserva mundial estimada de petróleo, y se concentra principalmente en áreas del Golfo Pérsico, el Mar del Norte, partes de Rusia y Estados Unidos (IEA, a, 2008).

Un 40% de la reserva mundial de crudo se conoce como *petróleo mediano* -que básicamente se encuentra en la zona del Golfo Pérsico- y *petróleo pesado* -como el *mayá*, extraído en México-.

Al restante 30% se le conoce como *extra pesado*, bitumen ó arenas petroleras, donde Canadá y Venezuela poseen grandes yacimientos.

Del petróleo se obtiene principalmente los combustibles y lubricantes que la industria del transporte demanda, tales como gasolina, diesel, kerosén, aceites lubricantes, etc. En el caso de Estados Unidos por ejemplo, el 96% de la energía utilizada por el sector del transporte se obtiene del petróleo, lo que equivale a que el

² El American Petroleum Institute (API) determina los parámetros internacionales de medición del crudo con base a la densidad de cada fuente de extracción. Asignándole un nivel de grado *API* que va de 10 -para los crudos extra pesados- hasta más de 39 para los super ligeros. De acuerdo a información del Instituto Mexicano del Petróleo. www.imp.mx.

72% del total del crudo consumido por esa economía se destine a satisfacer las necesidades energéticas de la industria del transporte (gráfica 1). Por lo que no es de extrañar que el 60% del petróleo a nivel mundial tenga ese mismo destino.

Sin embargo, el verdadero valor económico del petróleo no está en generar los combustibles que de él se extraen, sino en la amplísima variedad de productos petroquímicos que de él se obtienen y que son la materia prima de los plásticos y fibras sintéticas que el mundo consume, así como de productos medicinales y agropecuarios como los fertilizantes.

1.1.3.2. Gas natural

El gas natural está ligado a los mismos sedimentos orgánicos que dieron origen al petróleo. Dicha fuente de energía es producto de una mayor presión sobre los sedimentos orgánicos que lo convirtieron en gaseoso. De hecho en la parte superior de las cavidades subterráneas que albergan petróleo comúnmente se puede encontrar gas natural. Químicamente hablando, son compuestos básicamente de metano: un átomo de carbono ligado a cuatro de hidrógeno. Las mayores reservas probadas de gas natural en el mundo se encuentran en la zona del Golfo Pérsico y Rusia³.

1.1.3.3. Carbón

El origen del carbón comparte muchas similitudes con las del petróleo y el gas natural. Es el producto de grandes sedimentos –en este caso vegetales- que bajo condiciones de alta presión-calor y que al no ser expuestos a procesos de degradación u oxidación se convirtieron en roca sedimentaria con una altísima concentración de carbono como su principal elemento químico. Poco más del 60% de

³ La zona del Golfo Pérsico (Irán, Irak, Katar, Arabia Saudita y Emiratos Árabes) concentran reservas probadas de alrededor de 2,500 billones de pies cúbicos de gas natural. Les sigue Rusia con 1,700 bp³, y en tercer lugar Estados Unidos con 240 bp³. Según información de la Administración de Información Energética.

la reserva mundial de carbón se concentra en tan solo tres naciones: Estados Unidos, Rusia y China⁴.

Estas tres fuentes de energía comparten un par de denominadores comunes sumamente importantes. El primero de ellos es su temporalidad; son recursos que una vez consumidas sus propiedades inflamables, dejan de ser útiles energéticamente hablando, ya que no se renuevan. Por lo que cuando la humanidad consuma la última gota de petróleo, el último soplo de gas natural ó la última roca de carbón, tendrá que esperar cientos de millones de años para que la naturaleza nos convierta quizá a nosotros mismos, en los combustibles fósiles del futuro. Por ello, son catalogados como *recursos no renovables*, finitos.

El segundo denominador común es que todos ellos por su origen son clasificados como fuentes fósiles, es decir de origen orgánico –vegetal ó animal-, compartiendo al átomo del carbón como principal elemento en su estructura molecular. Y como la materia no se destruye sólo se transforma, esos átomos encontrarán nuevos arreglos para luego de ser “quemados” puedan continuar su existencia. Convirtiéndose así en las miles de millones de toneladas de moléculas de bióxido de carbono –entre otros subproductos químicos- que salen de los escapes de los cientos de millones de vehículos de combustión interna y de las miles de chimeneas de plantas industriales y de generación eléctrica en todo el mundo.

Pero antes de entrar al análisis de las contradicciones y problemática generadas por el modelo energético mundial, conviene comentar algunos sistemas energéticos en particular.

1.2. Casos Particulares

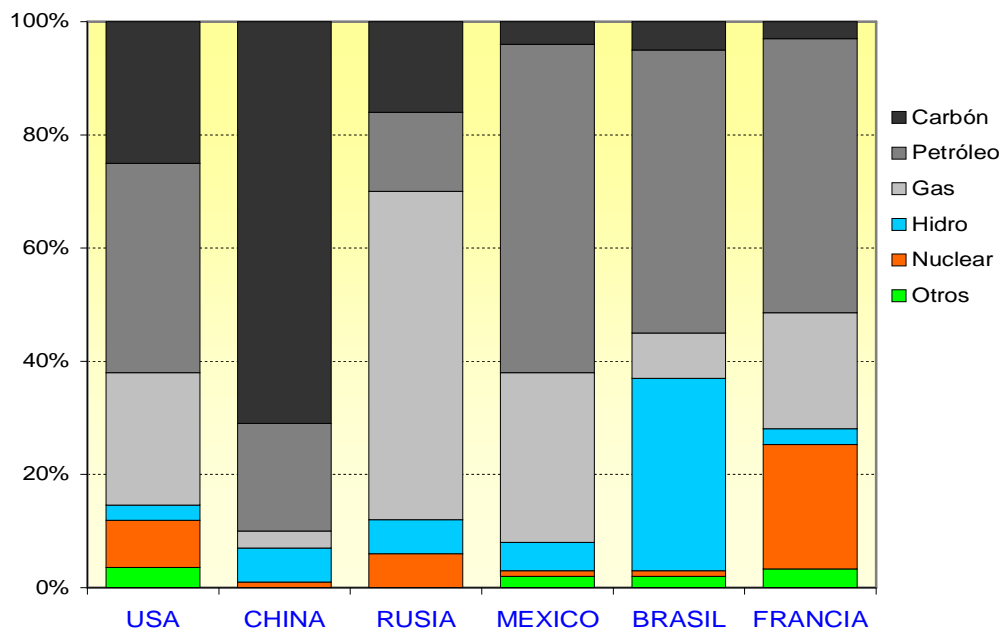
Como se ha mencionado, el Modelo Energético Mundial presenta algunos matices cuando se analiza los sistemas energéticos en forma particular. En la gráfica 2 se muestra la estructura relativa de fuentes de energía de un grupo de países representativos del conjunto mundial.

⁴ Estados Unidos con 264 mil millones de toneladas, el 28% de la reserva mundial de carbón; Rusia con 173 mmtons, el 19% y China con 126 mmtons, el 14%. Información de la Administración de Información Energética.

Para efectos comparativos y de análisis se comentarán las estructuras energéticas por pareja. Estados Unidos y China (por ser dos de los polos económicos, ideológicos y militares más importantes en la actualidad), Rusia y México (economías intermedias con una fuerte dependencia de recursos fósiles principalmente del gas natural) y por último Brasil y Francia (que por caminos diferentes, presentan los niveles más bajos en el uso de fuentes fósiles para economías de mediano y gran tamaño en el mundo).

Como se puede observar la participación porcentual de las fuentes fósiles en la generación de energía es simplemente apabullante y va de un 63% en el mejor de los casos (Brasil) hasta extremos del 93% de dependencia de fuentes fósiles (China).

Gráfica 2. Estructura Energética por Origen, 2008.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Energy Information Administration.
Datos del 2009 para USA.

1.2.1. Estados Unidos – China

Como se mencionó, Estados Unidos y China se han convertido en dos de los polos económicos más importantes del orbe. El primero de ellos por la magnitud de su

actividad económica, el segundo por su acelerado ritmo de crecimiento económico que para el 2011 lo sitúa como la segunda mayor economía del planeta. Sin mencionar las tensiones políticas, comerciales, financieras y militares que suele acarrear el desarrollo de polos hegemónicos de esta naturaleza y cuyo análisis queda fuera del alcance del presente trabajo, pero que sin duda no puede ser soslayado.

En términos de sistemas energéticos, Estados Unidos es autosuficiente en la producción de carbón y gas natural y es uno de los principales productores de crudo en el mundo (IEA, a-2008). Sin embargo, debido a su estructura de consumo energético, es el principal importador de petróleo en el mundo, comprando del exterior más de la mitad del crudo que consume.

China por su parte, al tener la tasa de crecimiento económico más elevada del mundo de economías comparables, tiene también una altísima presión por desarrollar sus fuentes energéticas. Su relativa baja dependencia del petróleo está motivada a que el uso de vehículos automotores de combustión interna aún se encuentra en un proceso temprano de desarrollo si se le compara con el de economías desarrolladas. Por lo que se puede estimar –dado el tamaño de su población- que sus necesidades de crudo crezcan en forma exponencial en el mediano plazo. Por otro lado, un mayor uso de gas natural en la estructura energética de China será posible en la medida en que los acuerdos de abastecimiento con Rusia e Irán se materialicen.

Para ambos sistemas energéticos, el carbón es su principal fuente de generación eléctrica. Debido a esta profunda dependencia y al alto nivel de contaminación ambiental inherente a la utilización de carbón, ambas naciones son consideradas también las más contaminantes del mundo (gráfica 5).

Por lo que toca a sus sectores productores de energía renovable, estos aún no tienen un peso relativo importante en sus estructuras energéticas, a pesar de las grandes inversiones que ha hecho China en el desarrollo de sus fuentes hidroeléctricas y en el aprovechamiento de fuentes eólicas en ambos casos.

1.2.2. Rusia - México.

Rusia es la única economía –dentro de las diez primeras del mundo- que es autosuficiente en fuentes fósiles de energía: petróleo y carbón, pero sobre todo en gas natural. Por lo que es importante exportador neto de los tres insumos energéticos. Además de contar –al igual que China- con grandes recursos hidráulicos aún por explotar (IEA, b-2008). Sin embargo su apuesta es al uso del gas natural como su principal fuente energética de largo plazo⁵. Al basar su producción energética en este combustible, Rusia presenta un nivel relativo de contaminación mucho menor al de otros sistemas energéticos⁶, aunque sin distanciarse en nada de su dependencia de fuentes fósiles.

México sigue un patrón muy similar al ruso. Su sector energético está sustentado en el uso del petróleo y del gas natural. Es aún exportador neto de crudo, aunque deficitario en carbón y gas natural⁷. Y a pesar de ello, la participación del gas natural en su estructura energética (gráfica 2) tiende a incrementarse considerablemente ya que en los últimos años y fuera de toda racionalidad económica, ha apostado al uso de gas natural como su principal fuente en el crecimiento de su sector eléctrico⁸.

Más allá del aprovechamiento de sus fuentes hidráulicas en ambos casos, del desarrollo nuclear en el caso particular de Rusia y de la explotación de Cerro Prieto –fuente geotérmica- en el caso mexicano, el desarrollo de sus fuentes energéticas sustentables deja mucho que desear.

1.2.3. Brasil - Francia.

Dos claros ejemplos de cómo fuentes alternativas de energía pueden ser desarrolladas para sustituir la dependencia de fuentes fósiles son los sistemas

⁵ En 2005, el 55% de la oferta total de energía en Rusia, provenía del uso de gas natural, 19% del petróleo y 16% del carbón. Energy Information Administration.

⁶ China por ejemplo consume 2.8 veces más energía que Rusia (85.06 vs. 30.43 miles de billones de BTU's) generando 3.78 veces más emisiones de CO₂ que ésta (6,534 vs. 1,729 millones de toneladas métricas). Véase el Anexo Estadístico para más comparaciones.

⁷ Para el 2009, México presentó un balance negativo en su saldo energético de gas natural de 377 mil millones de pies cúbicos que equivale al 18% de su consumo total. Véase información detallada en el Anexo Estadístico.

⁸ En el siguiente capítulo se profundizará en el análisis de la creciente dependencia de México del gas natural.

energéticos de Brasil y Francia. De los seis sistemas energéticos analizados en la gráfica 2, son los que menos dependencia tienen respecto a las fuentes fósiles de energía. Lo que los coloca en otro nivel de análisis.

Brasil es el único caso de la muestra donde las fuentes fósiles de energía pierden terreno frente a alternativas renovables, ya que ha aprovechado sus bastos recursos hidráulicos como contrapeso al uso de fuentes fósiles. Cuenta desde hace años con enormes presas que le permiten producir casi la totalidad de su energía eléctrica⁹. Comienza a ser un exportador neto de crudo, pero continua siendo importador neto de gas natural y carbón.

Francia por su parte es deficitaria en todas sus fuentes fósiles de energía. Pero presenta una particularidad muy importante, un desarrollo sin igual en el mundo entero en el rubro de energía nuclear. Ya que después de la crisis petrolera de mediados de los años setenta, Francia emprendió un fuerte programa de sustitución de crudo por plantas nucleares en la generación eléctrica. Por lo que es, dentro de las naciones desarrolladas, una de las que menos nivel de contaminación ambiental presenta. Aunque tenga que lidiar por otro lado con los desechos radioactivos que sí generan las plantas nucleares.

Francia y Brasil, aunque caminando por senderos diferentes en materia de desarrollo de fuentes alternativas a las fósiles, son claro ejemplo de la importancia de establecer y seguir políticas energéticas de largo plazo en el sector energético.

Como se puede observar, existen matices en la estructura particular de cada uno de los diferentes sistemas energéticos. Sin embargo, el peso absoluto y relativo de los combustibles fósiles en todos ellos es indiscutible.

1.3. Importancia del Sector Energético

La energía es un insumo demandado por todos los sectores económicos - industrial, agrícola, transporte, comunicaciones, comercio- y en general por los más diversos servicios y productos finales que todo sistema económico moderno

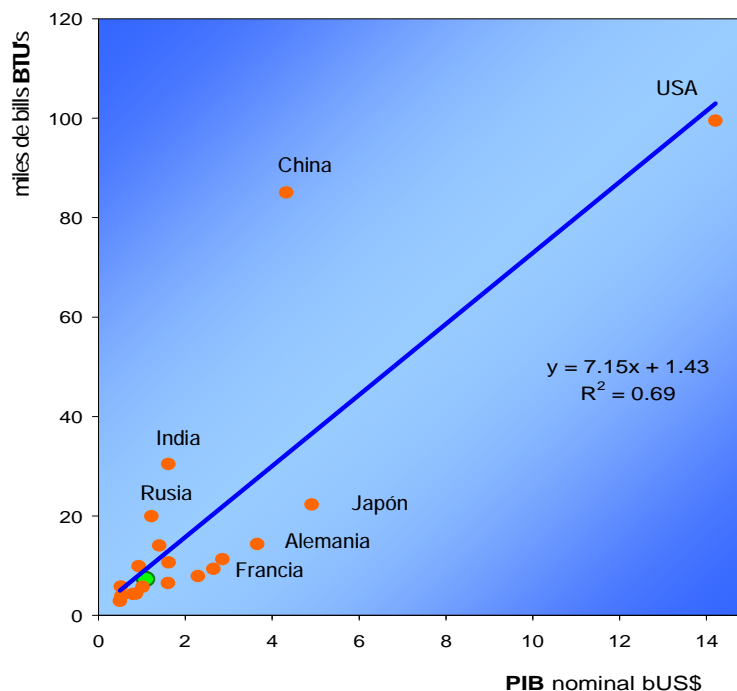
⁹ En el siguiente capítulo se hará un análisis más detallado sobre el sector eléctrico brasileño.

demanda. La realidad económica muestra que a cada nivel de desarrollo económico se exige un determinado nivel de consumo de energía.

La relación existente entre el tamaño de una economía y su nivel de consumo de energía permite dimensionar la importancia económica y estratégica que guarda el sector energético en todo sistema económico. Dicha interrelación queda en evidencia al analizar el consumo energético de las veinte mayores economías del mundo¹⁰, medidas estas por el valor de su producto interno bruto¹¹.

Mediante una regresión simple se muestra el alto nivel de relación existente entre consumo de energía -medido en miles de billones de Btu's¹²- y el tamaño de cada economía (gráfica 3).

Gráfica 3. Consumo de Energía vs. PIB, 2008.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial y de la Energy Information Administration.
Nota: El punto en verde corresponde a México.

¹⁰ Véase el cuadro detallado en el Apéndice Estadístico.

¹¹ Información del Banco Mundial. Gross Domestic Product 2009. Cuadro completo en el Apéndice Estadístico.

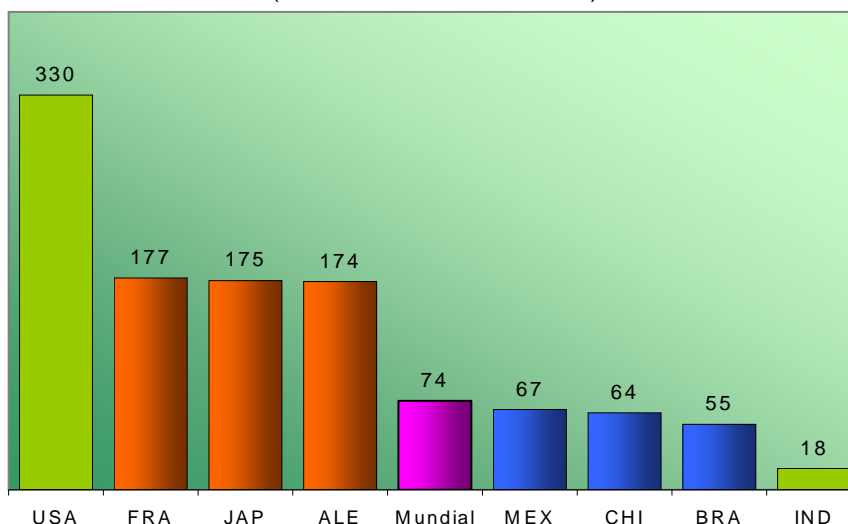
¹² La British Thermal Unit (Btu), es la unidad utilizada para medir el contenido energético de los combustibles. Un Btu equivale a aproximadamente 1,060 joules. Según información de la *Energy Information Administration*, un barril de petróleo -de 42 galones- contiene el equivalente a 5.8 millones de Btu's. Un galón de gasolina, 124 mil Btu's. Un pie cúbico de gas natural, 1,028 Btu's. Una tonelada de carbón, 20.2 millones de Btu's. Un kilowatt-hora de electricidad, 3,412 Btu's.

Estados Unidos, que ocupa el primer lugar mundial por el valor de su producto - 14.1 billones de dólares (bUS\$)-, también es la economía con el mayor consumo de energía 100 mil billones (mb) de Btu's, equivalente al 20% del total mundial. China, la segunda mayor economía del mundo –con un PIB de 5 bUS\$- se aproxima cada vez más al nivel de consumo total de energía de Estados Unidos, con 85 mb de Btu's el 17% del consumo mundial. De ahí la complejidad -en términos geoestratégicos- de las relaciones comerciales, financieras y políticas entre ambas naciones.

De lo que se concluye que -en términos absolutos- a mayor tamaño de una economía corresponde un mayor nivel de consumo total de energía.

Los casos de China e India merecen una anotación al margen. Son las dos naciones más pobladas de la tierra¹³ con cerca de 2,450 millones de habitantes -37% del total mundial-. Cifras que justifican su alto nivel de consumo energético total pero que al ser observado en forma *per cápita*, lo ubica en su verdadera dimensión (gráfica 4). En términos relativos, al hacer una comparación del consumo de energía por habitante se observan otros aspectos de la relación, tal y como se muestra enseguida.

Gráfica 4. Consumo *per cápita* de Energía, 2008
(en miles de millones de Btu's)



Fuente: Elaboración propia con datos de la Energy Information Administration, 2008.

¹³ El cuadro con las 30 naciones más pobladas del mundo se puede consultar en el Apéndice Estadístico.

El primer elemento a destacar es el altísimo consumo energético per cápita en Estados Unidos, el cual es 1.9 veces mayor al de economías con desarrollo económico similar a este; 4.5 mayor que el promedio mundial; o 5.2 veces mayor al consumo per cápita en China, por citar algunas comparaciones.

Una segunda observación muestra que economías con desarrollo similar tienden a tener un consumo energético equiparable. Nótese los casos de Japón, Alemania y Francia –del lado de los países desarrollados- y los de México, Brasil y China –por las economías subdesarrolladas-. Esta segunda observación permite afirmar que las economías subdesarrolladas tenderán a incrementar su consumo per cápita de energía en la medida en que crezcan. Ya que son de hecho estas economías –caso específico de China e India- quienes muestran una dinámica de crecimiento superior al de las economías desarrolladas. Por lo que su consumo total de energía aumentará también en consecuencia.

De ello se puede sustentar con certeza la afirmación de que el sector energético reviste una importancia crucial en el proceso de crecimiento económico tanto para las economías ya desarrolladas como para aquellas que viven procesos de crecimiento por arriba de la tasa promedio mundial.

Luego entonces, el saber que los procesos de crecimiento de los sectores energéticos de las economías subdesarrolladas ayudarán a reproducir a una mayor escala el actual modelo de generación energético así como sus contradicciones, obliga a detenerse a analizar los problemas inherentes a dicho sistema.

1.4. Principales Problemas del Modelo Energético

El modelo actual de producción de energía en el mundo tiene al menos dos principales problemas. El primero de ellos es resultado directo del uso intensivo de fuentes fósiles: la contaminación ambiental. El segundo es el producto final de un modelo que no es sustentable en el largo plazo, debido a que gira en torno a fuentes energéticas finitas: la dependencia energética.

1.4.1. Contaminación ambiental

El vapor de agua [H₂O] y el bióxido de carbono [CO₂] son los gases más abundantes en la atmósfera con propiedades de efecto invernadero que han creado las condiciones de temperatura y humedad necesarias para que la vida sea posible en el planeta.

Sin embargo el constante aumento de CO₂ en la atmósfera, está rompiendo con este frágil equilibrio natural. El aumento constante de bióxido de carbono en los dos últimos siglos está asociado con actividades humanas como la deforestación, el cambio en el uso del suelo, el crecimiento del sector ganadero y principalmente por el uso de combustibles fósiles ocurrido desde la segunda parte del siglo XX (Volk, 2008).

El 99.6% de las 30 mil millones de toneladas métricas de bióxido de carbono que son lanzadas a la atmósfera cada año a nivel mundial, proviene de la quema de combustibles fósiles, resultado directo de la aplicación del modelo de generación de energía imperante en el mundo de hoy (cuadro 2).

Cuadro 2. Emisiones de CO₂ a nivel mundial por fuente (%)

	1973	2008	Var. %
Carbón	34.9	42.9	23
Petróleo	50.6	36.8	(27)
Gas	14.4	19.9	38
Otros	0.1	0.4	300
Total Mundial	15,643	29,381	88

millones de toneladas

Fuente: Agencia Internacional de Energía (EIA-a, p 44).

Existen evidencias científicas contundentes que respaldan la hipótesis que afirma que el significativo aumento de CO₂ en la atmósfera está ocasionando un paulatino calentamiento de la tierra, que aunque no es perceptible para el ser humano, puede

ser catastrófico para múltiples ecosistemas y que tiene el poder de alterar el patrón climático mundial¹⁴.

El caso más evidente es el constante deshielo de las nieves perpetuas de glaciares y de los polos y cómo esto podría afectar el patrón de corrientes oceánicas que influyen en el aumento, cantidad y fuerza de fenómenos meteorológicos como los huracanes, ciclones y los conocidos fenómenos del Niño y la Niña¹⁵.

Un cambio climático mayor podría modificar el patrón de lluvias a nivel mundial, afectando sensiblemente la agricultura de las naciones subdesarrolladas que sustentan parte importante de su producción de granos en sembradíos de temporal. Por lo que sequías prolongadas y/o inundaciones serían devastadoras para la población más vulnerable del planeta¹⁶.

Con ello se confirma la primera contradicción del actual modelo energético -dada su estructura de producción- que a mayor crecimiento económico corresponde un mayor uso de recursos energéticos; y a mayor uso de energéticos se genera una mayor producción de contaminantes ambientales.

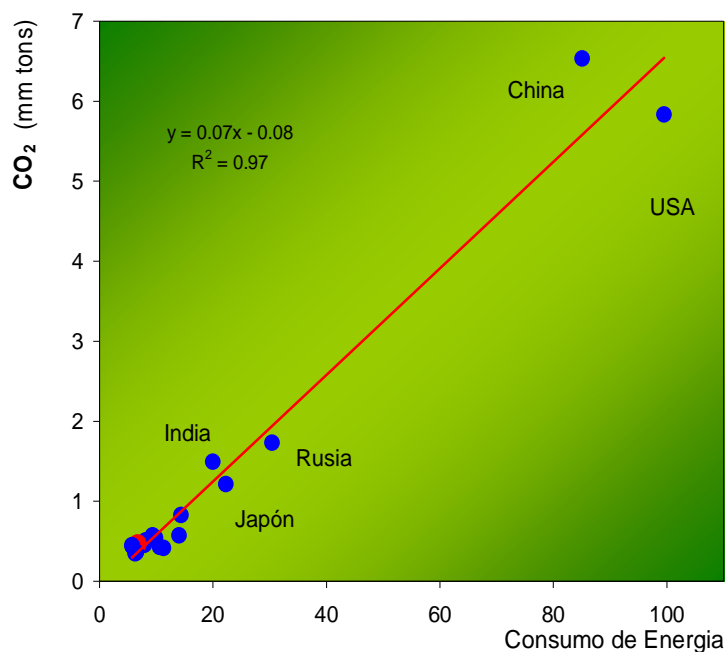
Para tener una mejor idea de cómo el sector energético mundial contribuye a la generación de contaminantes ambientales a través de la generación de CO₂, en la gráfica 5 se muestra la relación existente entre consumo de energía –en miles de billones de Btu’s- y la generación de contaminación ambiental -en miles de millones de toneladas métricas de CO₂-¹⁷, de los veinte mayores consumidores de energía en el mundo.

¹⁴ Una seria discusión sobre el tema -desde el punto de vista de la ciencia económica- se puede encontrar en el libro *The Economics of Climate Change* -editado por Owen y Hanley- que forma parte de la bibliografía del presente trabajo.

¹⁵ Para más información se puede consultar el sitio de las Naciones Unidas para la Convención sobre Cambio Climático (UNFCCC) en www.unfccc.int.

¹⁶ Dos serían las mayores afectaciones producidas por el cambio climático: 1) el aumento del nivel del mar y 2) los cambios extremos del clima. Que podrían llegar a justificar hasta un 90% del daño total. Siendo la zona subdesarrollada de Asia la más afectada con un 50% del daño total, África con un 30% y Centro y Sudamérica con un 15%. Owen, 2004. Por la importancia del tema, el cuadro completo es reproducido en el Anexo Estadístico.

¹⁷ Con información al cierre del 2008 de la Energy Information Administration. Cuadro completo en el Apéndice Estadístico.

Gráfica 5. Emisiones de CO₂ vs. Consumo de Energía, 2008.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Energy Information Administration.
 Nota: El punto en rojo corresponde a México.

Existe una relación directa, casi perfecta, entre consumo de energía y generación de contaminantes ambientales donde ningún país de la muestra se excluye. Por lo que se confirma que el modelo de generación de energía a nivel mundial -dada su gran dependencia al uso de fuentes fósiles causantes del CO₂- es altamente contaminante del medio ambiente.

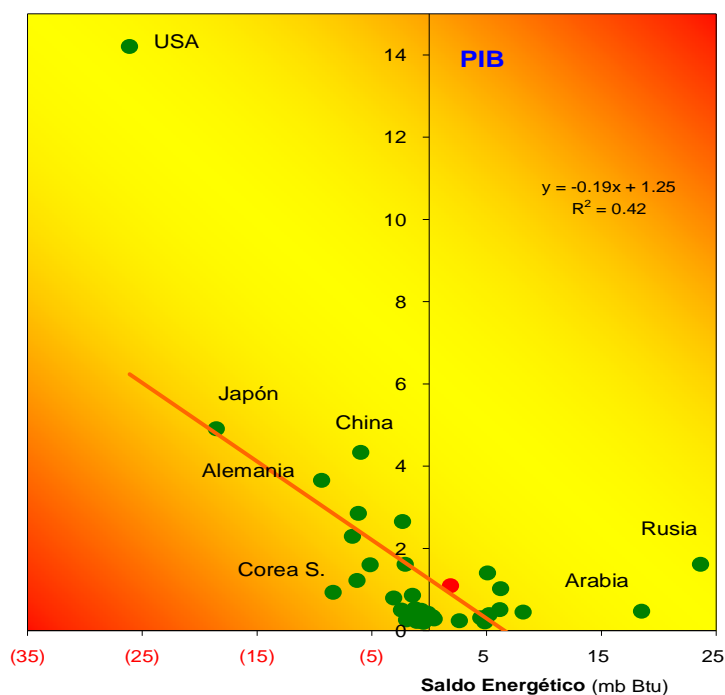
La posición de China es igual ó mayor a la de Estados Unidos, en el terreno de la generación de contaminantes ambientales, debido a su alta dependencia del carbón como fuente de energía tal y como se muestra en la gráfica 2. México por ejemplo produce más contaminantes ambientales que Brasil ó Francia (445 contra 428 y 415 millones de toneladas métricas de CO₂ respectivamente), a pesar de tener un menor consumo total de energía (7.31 contra 10.11 y 11.19 mil billones de Btu's respectivamente), esto como consecuencia de su estructura de producción energética (gráfica 2).

1.4.2. Dependencia energética

El segundo elemento negativo a destacar generado por el modelo actual de producción de energía a nivel mundial es la ruta de dependencia energética en la que cae irremediamente la inmensa mayoría de los sistemas económicos del mundo; ya que en su búsqueda de un mayor crecimiento económico aumenta en consecuencia su necesidad de fuentes energéticas, lo que –dado el modelo energético imperante- las orilla a convertirse en importadoras netas de fuentes energéticas.

En la gráfica 6 se puede apreciar la relación existente entre crecimiento económico -medido por el PIB nominal del 2008- y Saldo Energético¹⁸ -la diferencia entre producción menos consumo total de energía medido en miles de billones de Btu's-, de las 40 mayores economías del mundo.

Gráfica 6. Dependencia Energética, 2008.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Energy Information Administration.

Nota: El punto en rojo corresponde a México.

¹⁸ Con información de la Administración de Información de Energía. El cuadro completo puede ser consultado en el Anexo Estadístico.

Se observa que 26 de las 40 mayores economías del mundo son energéticamente deficitarias y tres más están muy cerca de serlo¹⁹. Por lo que se puede afirmar que cerca de tres cuartas partes de las 40 principales economías del mundo tienen un saldo energético negativo. Datos que se vuelven aún más dramáticos en la medida que se analizan las 20 o las 10 mayores economías del mundo. En este último caso, 90% de ellas son energéticamente deficitarias, solo Rusia es autosuficiente en materia de fuentes energéticas tradicionales.

Más aún, el 48% del superávit energético disponible en la muestra de 40, está concentrado en tan sólo dos economías: Rusia –con 23.6 mb Btu's- y Arabia Saudita –con 18.5-. Por lo que si se extrajeran del análisis por un momento, la regresión subiría de 0.42 a 0.66. Aún considerando a estas dos economías, la tendencia de largo plazo muestra un deslizamiento paulatino de todas las economías hacia la izquierda de la gráfica, a mayor o menor velocidad, ya que el consumo mundial de energía continuará aumentando mientras que las reservas de combustibles fósiles se irán agotando paulatinamente (IEA, b-2008).

De ello se concluye que, el reproducir un modelo de generación de energía basado en el uso de fuentes fósiles llevará en el mediano o largo plazos a toda economía a agotar sus propios recursos energéticos no renovables y a tener que importarlos para seguir satisfaciendo el uso de tecnologías dependientes de estas fuentes fósiles.

Esta dependencia energética se traduce en una salida neta de recursos financieros de los sistemas económicos energéticamente deficitarios en beneficio de aquellas pocas economías superavitarias de recursos energéticos fósiles. Convirtiéndose en un elemento más que desestabiliza las cuentas externas de cualquier sistema económico en magnitud y velocidad dictadas ahora por los mercados internacionales de futuros sobre materias primas o commodities. Lo que pone a todo sistema económico a merced de la especulación de los mercados, convirtiendo así al sector energético en el *Talón de Aquiles* de toda economía.

¹⁹ México, Argentina y Sudáfrica con superávit equivalentes al 26%, 9% y 8% de su consumo energético total respectivamente. Ver Anexo Estadístico.

Con la información anterior es posible concluir que: primero, el actual modelo de generación de energía está sustentado en el uso de fuentes no renovables como son el petróleo, gas natural y carbón. Segundo, que estas fuentes al ser producto de materia orgánica fosilizada son altamente generadoras de CO₂, principal contaminante del medio ambiente. Y tercero, que debido a que son recursos no renovables y dado su uso generalizado en el planeta, provoca que toda economía mientras más crecimiento económico alcance mayor sea su déficit energético.

Continuar reproduciendo este patrón llevará irremediablemente al colapso energético y económico de sus participantes. Por lo que es imperativo avanzar en el desarrollo de un nuevo modelo energético que sea sustentable en el mediano y largo plazos y que deje de reproducir las contradicciones del patrón actual, como son la generación crónica de contaminantes ambientales -que atentan contra la supervivencia misma del hombre y el de múltiples especies del planeta- y que termine con la lógica de dependencia energética, económica y financiera de las naciones sin recursos fósiles que son la gran mayoría.

CAPÍTULO 2

Política Económica del Sector Energético

Una vez analizado el modelo de energía imperante a nivel mundial, la pregunta lógica que sigue es por qué -si es tan evidente su problemática- se continúa con su aplicación y hasta en algunos casos se profundiza más en la dependencia de fuentes fósiles para la producción de energía.

En este segundo capítulo se discutirá la tesis de que son exclusivamente factores financieros de corto plazo los que determinan la toma de decisiones en materia energética. Lo que obstruye la creación de políticas públicas que permitan migrar al actual modelo energético a uno sustentable en el largo plazo.

El capítulo comienza con un breve repaso de los antecedentes históricos que llevaron a la industria petrolera y a los combustibles fósiles al lugar que hoy ocupan. Luego se comentan los principales esfuerzos mundiales y regionales para controlar la emisión de gases contaminantes y para generar políticas energéticas sustentables. Se analiza el papel que juega la teoría económica neoliberal de apertura a la inversión privada y de libre mercado en el sector energético, para concluir con el estudio particular de los casos del sector eléctrico de Brasil, Sudáfrica y México.

2.1. Antecedentes.

La industria petrolera y su liderazgo en el sector energético en la historia moderna, comienza a florecer a principios del siglo XIX en Rusia. Para luego mover su centro de gravedad a los Estados Unidos, quien se convierte en el primer productor de crudo a inicios del siglo XX.

En un primer momento el crudo era utilizado como combustible para encender lámparas incandescentes en los hogares, en sistemas de calefacción, así como en la fabricación de aceites lubricantes para la industria y como combustible para la incipiente industria automotriz de finales del siglo XIX y principios del XX.

La definición que en la actualidad tenemos de la industria petrolera, no puede ser concebida sin mencionar a la Standard Oil Co. fundada por los hermanos John y William Rockefeller en 1870. Este conglomerado industrial marcó la pauta mundial en la forma de organización empresarial de la industria petrolera moderna y en el tipo de vínculos que creó con los grupos de poder político, prácticas que le reportaron elevadísimas tasas de ganancia. Un *modus operandi* que predomina en la industria petrolera privada hasta nuestros días.

La empresa controlaba todos los procesos vinculados a la industria petrolera en forma vertical. Desde la producción, transportación, refinación y venta del petróleo y sus derivados. Lo que la convirtió en la mayor refinería del mundo y en una de las corporaciones industriales más poderosas del planeta²⁰.

Uno de los principales aportes de la Standard Oil Co. y sus prácticas monopólicas a la industria de los energéticos fue precisamente la estandarización –químicamente hablando- de las gasolinas que comenzaba a demandar la naciente industria automotriz.

La producción en masa de los vehículos automotores en Estados Unidos y en el mundo desarrollado comienza a finales de 1913, cuando la *Ford Motors* introduce las líneas de producción en la fabricación de su famoso *Modelo T*, reduciendo hasta en casi diez veces el tiempo de producción de cada vehículo²¹ y alterando con ello significativamente la estructura de costos de producción y por ende del precio final de los mismos. La masificación del automóvil –sobre todo después de la segunda guerra mundial- trae consigo en paralelo, un gran fortalecimiento de la industria petrolera en su faceta de abastecedora de gasolinas y lubricantes.

²⁰ En 1911 y luego de un largo proceso judicial, la Standard Oil Co. fue acusada de prácticas monopólicas y obligada a fragmentarse –por decisión de la Suprema Corte de Estados Unidos- en 32 diferentes compañías. Que a la postre se convertirían en los modernos conglomerados petroleros americanos, tales como la Exxon y la Chevron.

²¹ Con motivo del centenario de su aparición –Octubre 1908- la Ford Motor Co. proporcionó abundante información sobre sus famosos Modelos T de principio del siglo. En www.ford.com.

Para dimensionar el grado de interrelación que ha alcanzado en nuestros días la industria petrolera y la automotriz, baste mencionar que para el año 2007 -tan sólo en Estados Unidos- se facturó cerca de 380 mil millones de dólares²² por concepto de ventas de gasolinas al sector del transporte.

El siglo XX es también testigo de otro gran evento en la historia económica y social de la humanidad, el crecimiento de las ciudades. Los centros urbanos en todo el mundo crecen al recibir grandes migraciones del campo atraídas por el desarrollo económico que la naciente industria trae consigo y en muchos casos por la pobreza y abandono que viven las zonas rurales.

Este fenómeno social se tradujo en nuevas y mayores demandas de servicios, como la electrificación. El uso de presas en la generación eléctrica ha sido uno de los métodos más socorridos para satisfacer la creciente demanda de electricidad, pero no el único. El petróleo ha jugado también un importante papel en la producción eléctrica en los lugares en que no es posible o suficiente la generación por fuente hidráulica.

De forma tal que el crudo llegó a representar cerca de la mitad del total de la oferta mundial de energía para 1973 –previo a la primera crisis petrolera-. Dicha participación se ha reducido en nuestros días a tan solo un tercio del total (cuadro 1). Disminución atribuida al menor uso del petróleo en la generación eléctrica. El gran consumidor de crudo hoy son los cientos de millones de vehículos automotores que circulan por todo el mundo (gráfica 1) y una de las principales fuentes contaminantes del medio ambiente (cuadro 2).

Cabe entonces la pregunta de ¿qué han hecho los gobiernos en particular ó los organismos internacionales en su conjunto para regular al sector energético? ¿Existen o no lineamientos de mediano y largo plazos que marquen el rumbo del sector o este es más bien autónomo a planes y programas gubernamentales y sólo obedece a los caprichosos designios de alguna otra “mano invisible”?

²² Según información de la Energy Information Administration, se consumió en el 2007 un total de 3,389.27 millones de barriles de gasolina (de 42 galones cada uno x un precio promedio de \$2.65 por galón). April 2008: Short Term Energy Outlook Supplement, Motor Gasoline Consumption by Sector, 2007. Table F1.

2.2. Políticas energéticas.

A nivel mundial existen pocos ejemplos de políticas energéticas a largo plazo, entendida estas como el conjunto de medidas y ordenanzas públicas encaminadas a encausar acciones para lograr determinados objetivos en el sector energético a mediano y largo plazos.

El intento internacional más destacado en la materia es conocido como el Protocolo de Kioto, del cual se desprende otro de envergadura multinacional, las acciones que en la materia lleva a cabo la Unión Europea. Intentos ambos para controlar solo las emisiones de gases contaminantes del medio ambiente.

2.2.1. Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto²³ ha sido el intento mundial más serio para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero: bióxido de carbono [CO₂] y metano [CH₄], principalmente.

En él, la mayoría de las economías desarrolladas se comprometen a reducir la emisión de gases contaminantes en un 5.2% del nivel de 1990 para el período 2008-2012. En el entendido de que los países subdesarrollados –que tienen un potencial mucho más contaminante que el mundo desarrollado de hoy (dedicación especial para China e India)- sean incorporados en un futuro cercano (Owen, 2004).

En términos generales el Protocolo de Kioto ha resultado ser un gran intento fallido por varias razones. La primera de ellas es que el sistema funciona a ciegas ya que son los mismos gobiernos quienes están encargados de auto medir sus emisiones contaminantes debido a que no hay un organismo internacional expreso que se encargue de hacer las mediciones. Segunda, no hay en el acuerdo la normatividad para sancionar a aquellos estados que no cumplan con lo pactado. Y tercera y la más importante, Estados Unidos y Japón –dos de las economías más contaminantes del planeta- no han querido tomar compromiso alguno al respecto.

²³ El Protocolo de Kioto fue auspiciado por las Naciones Unidas, firmado en diciembre de 1997 por 83 países, y que luego tomaría forma en los Acuerdos de Marrakech de Octubre-noviembre del 2001.

Por otro lado, las principales naciones subdesarrolladas como Brasil, China e India, arguyen desde ahora lo injusto que será para sus economías y para sus procesos de crecimiento económico, el tener que incurrir en mayores inversiones para controlar la emisión de contaminantes, cuando que las naciones desarrolladas llevan más de un siglo contaminando a placer (Owen, 2004).

Como se puede ver, existen elementos que se antojan insalvables en la discusión del control de gases contaminantes a nivel mundial. Lo que se puede traducir en un gran tropiezo en la búsqueda de regular al sector energético mundial y en la voluntad de solucionar parte de la problemática que éste genera.

2.2.2. Unión Europea.

La política de la Unión Europea en materia energética, y quien ratificó el Protocolo de Kioto en el año 2002, ha sido ejemplar. A grado tal que de forma unilateral, han acordado satisfacer al menos el 20% de sus necesidades energéticas de fuentes no generadoras de CO₂ para el 2020²⁴ (EWEA, 2007). Nivel que ya tiene por ejemplo Francia con la ayuda de sus plantas nucleares (gráfica 2).

España y Alemania principalmente, se han enfocado al desarrollo y aprovechamiento de la energía solar y eólica, dejando a un lado el desarrollo de la energía nuclear. La Unión Europea cuenta actualmente con una capacidad de producción de 56.5 GW tan sólo por fuente eólica (GWEC, 2008), cifra superior a toda la capacidad de producción eléctrica con que cuenta México: 50 GW, por citar un ejemplo que dimensione el tamaño de la inversión realizada.

A pesar de ello, el programa energético de la Unión Europea –que es un paso en la dirección correcta- sigue siendo un esfuerzo parcial ya que sólo contempla el lado de la oferta, es decir, de la forma en la que se produce la energía. Falta por abordar otro de igual o mayor importancia, que es el de resolver el lado de la demanda ó de cómo se consume esa energía, asunto que se abordará más adelante.

²⁴ Acuerdo tomado en Enero del 2007.

2.3. Globalización y Sistemas Energéticos.

Los proyectos de inversión en el sector energético, como la construcción de una presa²⁵, un gasoducto²⁶ o una refinería²⁷, implican enormes desembolsos de recursos financieros, humanos y tecnológicos. Sólo grandes conglomerados industriales están capacitados para llevarlos a cabo siempre y cuando cuenten con el patrocinio de entidades financieras internacionales y de los gobiernos interesados. Por lo que no es de extrañar que en todo el mundo, la gran mayoría de estos proyectos e instalaciones sean de propiedad estatal.

El modelo económico neoliberal de apertura económica y adelgazamiento del estado ha traído una nueva ola de privatizaciones en el sector energético mundial, principalmente en el sector eléctrico, promovidas desde organismos financieros internacionales²⁸ tales como el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial (BM). Buscando un espacio para que los grandes consorcios multinacionales industriales y financieros privados puedan participar de estos nichos estratégicos altamente rentables.

Y como la participación privada y sobre todo extranjera no siempre es legalmente permitida, estos conglomerados se han visto en la necesidad de pactar con las oligarquías políticas locales para poder acceder a tratos y contratos preferenciales que garanticen el retorno de su inversión.

²⁵ Por citar un par de ejemplos. La última presa importante construida en México: *El Cajón* -en Santa María del Oro, Nayarit- con una capacidad de producción de 750 MW, tuvo un costo superior a los 800 millones de dólares [CFE]. Por otro lado, China concluyó en el 2009 –y luego de quince años de construcción- la presa más grande del mundo: *Tres Cañones*, sobre el Río Yangtzé. Que cuenta con 26 turbinas de 700 MW de capacidad de generación eléctrica cada una de ellas y que requirió una inversión cercana a los 30 mil millones de dólares [CTGPC.com].

²⁶ El gobierno ruso planea, a través de su empresa estatal Gazprom y la empresa privada alemana BASF, la construcción de un gasoducto noreuropeo que conectaría a Rusia con Finlandia y el Reino Unido. Cerca de tres mil kilómetros en dos líneas paralelas –de las cuales mil kilómetros cruzarían bajo el mar Báltico- y que transportarían cerca de un billón de pies cúbicos de gas natural. Proyecto que se estima costará cerca de 8 mil millones de euros. [EIA > Country Energy Profiles > Russia].

²⁷ Japón, una economía completamente dependiente de fuentes energéticas externas, pero con un alto desarrollo tecnológico, participa en la construcción de proyectos de refinerías en varias partes del mundo. Desde el 2006, empresas japonesas participan en la construcción de una refinería en Katar, con capacidad de procesar hasta 146,000 barriles diarios de crudo y con un costo de inversión de 800 millones de dólares. También en Vietnam, en otro proyecto de refinación y petroquímica a concluirse en el 2013, con capacidad de procesamiento de hasta 200,000 barriles diarios de crudo y un costo de inversión de 6 mil millones de dólares [EIA > Country Energy Profile > Japan].

²⁸ La implementación de políticas de corte privatizador -como condición para recibir ayuda financiera de estos organismos internacionales- se facilitó durante períodos de crisis económicas, como parte de la *Terapia de Choque* que Naomi Klein analiza brillantemente en su libro *The Shock Doctrine* referido en la Bibliografía.

Los inversionistas privados -conglomerados multinacionales todos ellos- buscan asociarse con personajes locales políticamente bien conectados, que garanticen el retorno y la seguridad de su inversión. En mucho de los casos estos personajes no tienen siquiera que aportar suma alguna de efectivo, tan sólo sus contactos políticos (Victor, 2008).

2.3.1. Algunas experiencias internacionales.

Muchas son las experiencias nacionales donde se reproducen estas características de inversión extranjera privada con arreglos y justificación no muy transparente. Los siguientes son tres ejemplos aleccionadores de lo que acontece en algunos sectores eléctricos nacionales y de la aplicación de políticas neoliberales de libre mercado y apertura del sector energético a la inversión foránea.

2.3.1.1. Brasil²⁹.

El sistema eléctrico brasileño está dominado por un sistema operador en manos del estado que prioriza la generación eléctrica por fuente hidráulica sobre las otras posibles fuentes de energía (gráfica 2). En tiempos de lluvias la generación eléctrica proveniente de hidroeléctricas puede llegar a representar hasta el 95% de la oferta total.

La compañía estatal *Eletrobras* –creada en 1962- es quien transporta y produce poco más de la mitad de la energía eléctrica de éste país. Los otros participantes son los 26 gobiernos estatales que también son productores eléctricos³⁰.

Luego de las severas crisis económicas que azotaron a Brasil en la década de los ochenta -bajo regímenes militares- y de las fallidas terapias de choque económico del gobierno de transición, los aires neoliberales que pugnaban por reformar el sistema

²⁹ Con información tomada principalmente del apartado correspondiente a Brasil, del libro *The Political Economy of Power Sector Reform*, Victor, 2008, elaborado por el Doctor Adilso de Oliveira, pp. 31-75.

³⁰ Para 1998, cerca del 55% de la generación total (equivalente a 54 GW) provenía del nivel federal, mientras que un 40% era generado por entidades a nivel estatal. De Oliveira, en Víctor, 2008.

eléctrico brasileño llegan con el establecimiento del nuevo gobierno electo democráticamente en 1990.

La política de apertura respondía a dos premisas: 1) reorientar la economía en general y al sector energético en particular hacia un sistema de libre competencia – queriendo dejar atrás las políticas de sustitución de importaciones- con la promesa de que las libres fuerzas del mercado traerían mayores inversiones y crecimiento económico; y 2) aplicar el *textbook* que pregonaba el éxito Inglés en la desregulación de su sector eléctrico³¹.

En diciembre de 1992 el presidente Fernando Collor de Mello renuncia al cargo bajo acusaciones de corrupción y junto con él sale su secretario de energía, un respetable oficial del Banco Mundial (cualquier similitud con los administradores neoliberales de los gobiernos mexicanos de los últimos 30 años, no es mera coincidencia).

Su sucesor suaviza su postura frente al plan original de privatizaciones. Su estrategia consistía en privatizar primero las compañías de distribución, luego las de generación eléctrica para finalmente vender las de transmisión. Sin contar con un plan estratégico para el sector energético como un todo. Sólo se veía en las privatizaciones una fuente fresca de recursos financieros. Ya que para mediado de los noventa, los gobiernos estatales enfrentaban serios problemas financieros a raíz de los planes económicos de estabilización y disciplina fiscal impuestos por los organismos financieros internacionales, aunado a presiones sociales y políticas -pues muchos de ellos buscaban la reelección-. Por lo que el ofrecimiento de recursos frescos foráneos por sus activos en el sector eléctrico sonaba como música para sus oídos³².

El rápido proceso de privatizaciones alarmó a sectores “encumbrados” en la industria –del Ministerio de Minas y Energía y de la misma Eletrobras- quienes

³¹ El *textbook* ó receta, básicamente propone la continua privatización de los activos del sector, libre acceso a la red eléctrica y permitir la competencia en la generación y comercialización de la electricidad. Un análisis con más detalle del proceso de privatización del sector eléctrico en Inglaterra se puede encontrar en García (2003) así como experiencias en otros países en Víctor (2008), referidos ambos en la Bibliografía.

³² “Los Estados de Bahía (Coelba) y de Río de Janeiro (CERJ), cuyos gobernadores estaban políticamente ligados al gobierno federal, aceptaron el acuerdo del BNDES [Banco Nacional de Desarrollo, encargado de las privatizaciones]. Para finales de 1996, el consorcio encabezado por Iberdrola (España) compró Coelba mientras que las acciones controladoras de CERJ fueron vendidas a un consorcio encabezado por Chilectra (Chile). De Oliveira, en Víctor, 2008, p. 52.

enarbolando la bandera del nacionalismo y arguyendo la falta de una estrategia coherente lograron detenerlas. Produciéndose con ello un mercado mixto en el sector eléctrico brasileño.

La inversión privada buscó cobijo principalmente en la generación eléctrica por gas natural (otra coincidencia con el caso mexicano), que resultó ser financieramente hablando altamente riesgosa debido a su dependencia de tecnologías importadas, de la volatilidad del precio internacional del combustible y de su vulnerabilidad a las fuertes devaluaciones que sufriera la moneda local frente al dólar.

La pugna entre generación hidro versus termo continuó, viéndose favorecida la primera de ellas y relegada la segunda para cubrir cortos temporales. Situación que bajo un esquema de mercado y de inversión privada, no garantiza tasa alguna de ganancia e inclusive pone en riesgo la recuperación de la inversión.

A pesar de ello, las nuevas inversiones trajeron un crecimiento sustancial en la capacidad promedio que se adiciona anualmente, pasando de 1.08 GW de principios de los 90's a 2.8 GW de 1995 al 2000. Para el 2002 cerca del 25% de la capacidad de generación total –cercana a 80 GW- provenía de productores privados. Y aún el problema fundamental del sector eléctrico brasileño permanece sin respuesta: *la falta de estrategia de largo plazo*.

2.3.1.2. Sudáfrica³³.

El sector eléctrico sudafricano ha estado en manos de la empresa estatal *Eskom* –creada en 1922- que paulatinamente adquirió todos los activos privados existentes en el sector hasta convertirse en monopolio estatal. Generando cerca del 96% de la energía eléctrica de este país³⁴.

En la década de los ochenta, Eskom pudo financiar fuertes inversiones en el sector que aumentaron su capacidad de producción en forma excesiva. A pesar de dominar un ambiente de bajo crecimiento y de aislamiento económico y político a nivel

³³ Con información tomada principalmente del apartado correspondiente a Sudáfrica, del libro *The Political Economy of Power Sector Reform*, Victor, 2008, por el Profesor Anton Eberhard, pp. 215-253.

³⁴ Cerca del 90% de la energía eléctrica es generada del carbón, un 5% de la nuclear y el restante de las demás fuentes de energía. EIA > Country Energy Profiles > South Africa.

internacional hacia el estado de *apartheid* dominante en aquellos años. Lo que se tradujo en altos costos de generación que le fueron transferidos al consumidor final, mientras gran parte de la población (negra toda ella) carecía del servicio eléctrico.

En 1988 se realizó el primer estudio de viabilidad para su privatización. La recomendación fue que si se privatizaba Eskom por entero, no sería necesario entonces introducir competencia. Pero nunca se llevó a la práctica ya que el Congreso Nacional Africano comenzó a ganar fuerza política convirtiéndose en un contrapeso real a los planes privatizadores.

Cuando la revolución democrática lleva a la presidencia a Nelson Mandela en 1994, se plantean nuevos objetivos en el sector: electrificación masiva³⁵, mejoramiento de la distribución y la *corporatización* de Eskom.

Pero más importante aún -y este es uno de los principales aportes de la experiencia sudafricana- las políticas neoliberales de privatización en el sector eléctrico fueron amainadas por el hecho de que el gobierno no estaba desesperado por el ingreso de recursos externos, ya que la deuda pública estaba en niveles manejables.

El precio de la electricidad en Sudáfrica es una de las más bajas del mundo, debido a que no se ha tenido que invertir en la creación de nueva capacidad de generación y a que muchas de las viejas inversiones ya han sido amortizadas. A pesar de ello -y este es el segundo gran elemento que aporta la experiencia sudafricana- Eskom comienza a ser administrada bajo principios comerciales. Se incrementa su productividad y le son retiradas las garantías financieras gubernamentales. La relación deuda/capital pasa de 2.93 en 1986 a 0.09 en el 2003. Eskom paga ahora impuestos y dividendos como cualquier empresa privada aun que no lo sea.

La experiencia sudafricana en general y la de Eskom en particular son de suma importancia, ya que demuestran –como lo dice Eberhard- que se pueden lograr objetivos sociales y beneficios públicos independientemente de la estructura de

³⁵ En 1993 tan sólo un tercio de la población contaba con servicio eléctrico. Para el 2004, la electrificación ya alcanzaba al 70%. Eberhard, en Víctor, 2008. p. 226.

propiedad de la industria (Víctor, 2008). Que una empresa pública puede ser altamente productiva y dejar de depender del presupuesto federal.

2.3.2. El caso de México.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) –creada en 1937- es la empresa estatal que controla en la actualidad el 100% de la distribución y comercialización eléctrica en el país, y hasta hace una década –cuando aparece la inversión privada en el sector- era el único productor mayorista de electricidad.

Los aires privatizadores en el sector eléctrico mexicano llegan como una precondition del gobierno americano para negociar el Tratado de Libre Comercio (TLC) de Norte América de 1994.

En 1992, durante el gobierno de Salinas de Gortari (1988-1994) se modifica la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica para permitir la participación de particulares en el sector eléctrico. Otorgándose en enero de 1997 la primera concesión a la empresa americana AES (*Mérida III*); que entra en operación en el año 2000 (Víctor, 2008).

En la actualidad son ya 21 las concesiones otorgadas a ocho conglomerados industriales –extranjeros todos ellos- para la producción al mayoreo de electricidad, que es adquirida por la CFE para su venta al menudeo. Y que representa una tercera parte de la oferta total de electricidad³⁶.

A cierre del 2009, México contaba con una capacidad de generación eléctrica de 50.4 GW. De la cual, cerca del 80% era generada por fuentes fósiles, gas natural principalmente³⁷. Con la entrada de los productores privados en el año 2000, se incrementa la dependencia del uso de gas natural en el sector ya que todos ellos utilizan la tecnología de ciclo combinado, es decir, que queman gas natural.

³⁶ A cierre del 2009, la generación efectiva de los productores privados fue de 76.5 TWh de un total nacional de 230.6 TWh, lo que equivale al 33.2%. www.CFE.gob.mx

³⁷ Apartir del año 2005, el gas natural se convierte en la principal fuente de generación eléctrica, superando al uso de productos petroleros como el diesel. Para el 2007 se consumía el equivalente a 800 billones de Btu's de gas natural, 450 billones de derivados del petróleo y 300 billones de carbón. EIA > Country Energy Profiles > Mexico.

En la privatización del sector eléctrico mexicano, confluyeron una serie de factores que hicieron posible su apertura de forma rápida y silenciosa. Por el lado del exterior, el apetito voraz de las grandes corporaciones internacionales por hacer negocio en un mercado cautivo. Desde dentro, un gobierno ideológicamente *ad hoc* con serios problemas de legitimidad³⁸ y urgido del respaldo americano -como el de Salinas de Gortari- que fue capaz de ceder el sector eléctrico mexicano para congratularse con mentores ideológicos y alimentar su ego personal al pasar a la historia como el presidente que firmó el TLC con Estados Unidos.

En las posteriores administraciones de Ernesto Zedillo (1994-2000), Vicente Fox (2000-2006) y Felipe Calderón (2006-), la inversión privada en el sector eléctrico se ha convertido en uno de los mecanismos favoritos para atraer recursos externos que ayuden a aliviar las presiones en la balanza de pagos y –como dice el Dr. Huerta- para sostener con ello las políticas de estabilidad cambiaria y disciplina fiscal impuestas por el capital financiero internacional (Huerta, 2006).

2.3.2.1. Legalidad de la inversión privada.

Como ya se mencionó, en el año de 1992 se modifica la ley reglamentaria para que productores privados pudieran participar en la generación eléctrica. Esta modificación a la ley contraviene lo explícitamente estipulado en el Artículo 27 constitucional, que establece:

Artículo 27. ... Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.

La misma Suprema Corte de Justicia opinó en el 2002, que la ley que permite la participación privada en la producción de energía eléctrica, *podría ser inconstitucional*³⁹.

³⁸ Para un mayor análisis de las elecciones de 1988 en las que es electo Carlos Salinas de Gortari, véase a Anaya, 2008.

³⁹ "The Mexican Electricity Sector", Carreón, Jiménez y Rosellón, en Víctor, 2008. p. 205.

¿Cómo se puede explicar que consorcios industriales internacionales del calibre de la española Iberdrola, la japonesa Mitsubishi o la francesa EDF arriesguen cientos o miles de millones de dólares en inversiones que pueden ser declaradas ilegales? Sólo bajo la premisa de que existe un acuerdo oculto a la luz pública -entre estos consorcios y el grupo que detenta actualmente el poder político en México- que garantiza que la justicia no fallará en su contra -convirtiendo en ilegales esas concesiones- se puede explicar un comportamiento empresarialmente irracional como éste.

2.3.2.2. Operación de los productores privados.

Esa asociación perversa con el grupo político neoliberal que ha conducido la administración del Estado Mexicano en los últimos 30 años -cinco administraciones-, no sólo ha ofrecido “garantías” legaloides a la inversión extranjera en el sector energético, sino que a la par y de una forma más que inmoral, se ha encargado de llevar a cabo las acciones gubernamentales necesarias para que estas inversiones privadas sean altamente rentables en el corto plazo.

Cuadro 3. Producción y Costo de Electricidad en México, 2010.

	Capacidad instalada (%)	Generación real (%)	<i>var</i> %	Costo <i>pesos * kwh</i>
Termo	45.2	40.2	(11)	1.79
Produccion Privada	23.3	33.8	45	0.90
Hidro	21.9	12.4	(43)	0.44
Carbón	5.1	7.3	43	0.90
Nuclear	2.7	3.6	33	1.97
Geotermal	1.7	2.7	56	0.47
Otros	0.2	0.0	(76)	-
	100	100		

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CFE.

La generación efectiva de los productores privados sobre pasa con mucho su peso relativo medido por su capacidad de producción (cuadro 3). La generación

eléctrica de estos representa el 33.8% del total nacional, mientras que su participación en la capacidad total instalada tan sólo es del 23.3%. Se sacrifica con ello la generación de las hidroeléctricas en beneficio de los productores privados al comprar el máximo de electricidad generada por estos últimos. A pesar de que el costo de generación eléctrica por fuente hidráulica es menor a la mitad del de los productores privados (gráfica 8).

Lo que provoca un triple impacto negativo: a) al medio ambiente –por el aumento de la quema de gas natural-, b) a la balanza de pagos –debido a que se tiene que importar un mayor volumen de ese energético⁴⁰- y c) al ingreso disponible de la población –ya que al encarecer el servicio eléctrico se merma la parte de ingreso disponible para adquirir otros bienes y servicios-.

2.3.2.3. Tecnología utilizada.

La tecnología utilizada en todas las 21 concesiones privadas para la generación eléctrica en México, consiste en el llamado ciclo combinado. Que no es otra cosa que turbinas movidas por la combustion de gas natural, cuya energía térmica luego es aprovechada para generar vapor y con ello hacer girar una segunda turbina. Hay que reconocer que es una de las técnicas más eficientes que existen en la actualidad en materia de producción eléctrica por fuentes fósiles. Sin embargo, el uso de esta tecnología perpetúa el modelo tradicional de producción energética y profundiza los problemas ya mencionados de contaminación ambiental y dependencia energética.

De los ocho concesionarios privados, destaca Iberdrola, empresa española con cinco concesiones que equivalen al 24% del total otorgado y con una capacidad de producción de 5 GW que representa el 37% de la oferta total de estos productores. Iberdrola se promociona como una de las empresas líder en la producción de energía eólica a nivel mundial. Luego entonces, cabe preguntarse ¿por qué el gobierno

⁴⁰ En la década de los 90's, el saldo energético mexicano en materia de gas natural nunca superó un déficit de 100 mil millones de pies cúbicos (mmp³) anuales. Sin embargo, con la paulatina entrada en operación de estos productores privados desde el año 2000, el déficit energético en materia de gas natural se ha venido incrementando constantemente año tras año hasta alcanzar en el 2008, 435 mmp³ de déficit. Véase información detallada en el Anexo Estadístico.

mexicano no condicionó la entrada de estas corporaciones a que su participación en la generación eléctrica se basara exclusivamente en el uso de tecnologías de punta como la solar ó la eólica que son verdaderamente las tecnologías de avanzada en el sector eléctrico? ¿Por qué pagar por tecnología que no hace más que reproducir las contradicciones del viejo modelo energético?

Al cierre del 2010, Iberdrola reportó un margen bruto de 521 millones de euros por sus operaciones en México. Si se extrapolan las ganancias brutas de Iberdrola a los otros siete participantes, se descubrirá que cerca de dos mil millones de dólares pudieron haber abandonado nuestro país por concepto de utilidades, regalías y derechos de los productores privados de electricidad tan sólo en un año.

Apostar al gas natural como principal fuente en la generación eléctrica, sacrificando la generación de hidroeléctricas y el desarrollo de nuevas tecnologías, es una política irracional, sin fundamento económico, financiero ó ecológico alguno. Más aún si se considera que México es una economía deficitaria en la producción de gas natural.

Una iniciativa de ley, para reformar la industria petrolera, presentada por Felipe Calderón en el 2008 bajo el nombre de “Reforma Energética” -de corte privatizadora con trazos muy similares a la de la industria eléctrica- tuvo que ser modificada y suavizada en su versión final, gracias a un gran movimiento social de oposición encabezado por grupos nacionalistas y progresistas de izquierda.

Lo que se deja ver al final del día, es un patrón de conducta del grupo en el poder político en México de asociación con los grandes capitales industriales y financieros extranjeros para cederles una actividad económica rentable y altamente estratégica para el desarrollo del país como lo es el sector energético.

El caso mexicano sólo ejemplifica los muchos que acontecen y han acontecido alrededor del mundo motivados por esa corriente ideológica neoliberal promovida desde los centros internacionales del poder económico y financiero. Bajo el supuesto argumento de buscar una mayor eficiencia en el sistema energético a través de la creación de competencia y siguiendo la receta de la experiencia inglesa que nunca se ha podido reproducir en otro sitio en el mundo, organismos financieros internacionales

como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional han condicionado su apoyo a naciones con problemas financieros para que lleven a cabo las reformas necesarias que permitan la participación de inversionistas privados extranjeros en los sectores energéticos nacionales (Victor, 2008).

Lo que en verdad se oculta detrás de estas políticas neoliberales de apertura, pseudo eficientistas, que han contaminado al mundo desde los años ochentas, no es otra cosa que seguir favoreciendo -con acciones gubernamentales- los intereses del gran capital financiero especulativo internacional. Que en su búsqueda por obtener márgenes cada vez mayores de ganancia y de condiciones políticas y financieras a modo, exprimen literalmente a las economías locales para que éstas ofrezcan mayores tasas relativas de interés y estabilidad cambiaria a ultranza que les garantice un margen redituable en término de dólares.

La estabilidad cambiaria -como lo dice el Dr. Huerta- sólo es posible si la moneda nacional es lo suficientemente demandada por la comunidad internacional. Premisa que sólo es posible si se cuenta con una importante planta productiva exportadora que se traduzca en un saldo a favor en materia de comercio internacional, lo suficiente como para saldar las transferencias de capital al exterior producto del pago de interés a las inversiones especulativas y de utilidades, regalías y derechos a las inversiones directas. O a una entrada significativa de capital por concepto de inversiones directas, que complementen y fortalezcan la planta productiva doméstica. O bien, a una mezcla de ambas. Sólo así se evitarían presiones en el tipo de cambio (Huerta, 2006).

Pero resulta que la gran mayoría de economías subdesarrolladas, que le han abierto las puertas al capital financiero especulativo, no cuentan con las condiciones productivas ni mucho menos con las cadenas de producción capaces de generar dicho superávit comercial. Por lo que han recurrido invariablemente a la venta de activos públicos y privados para lograr los niveles de inversión directa que les permita aminorar coyunturalmente las presiones en sus cuentas con el resto del mundo.

La inversión directa no ha llegado a complementar los procesos productivos ya existentes en las naciones subdesarrolladas ya que no se han traducido en nuevas empresas productivas, sino que han llegado a comprar las ya existentes porque son

las que les garantizan de entrada un mercado seguro y en ocasiones cautivo. Rompiendo con ello, las incipientes cadenas de producción endógenas al incorporar tecnologías e insumos de importación. Lo que se traduce en mayores presiones en la balanza de pagos y en el tipo de cambio.

De ahí es que nace la urgencia de los gobiernos neoliberales subdesarrollados de rematar los activos que históricamente han formado parte de la estructura económica estatal, como aquellos del sector energético. Complacer al capital financiero especulativo a cualquier precio, parece ser su consigna.⁴¹

En vista de lo anterior, las experiencias de los sectores eléctricos de Brasil, Sudáfrica y México cobran singular importancia. De los casos brasileño y mexicano, se desprenden denominadores comunes: países acorralados por “crisis financieras” donde los organismos internacionales condicionan su “ayuda” a cambio de la apertura al capital privado internacional de sus sectores energéticos. Y que a la postre se convierten en procesos privatizadores truncados por el contrapeso que ejercen sendos movimientos sociales nacionalistas que entendiendo la dimensión histórica del proceso, luchan porque el Estado conserve su presencia en actividades altamente estratégicas como son las del sector energético.

La experiencia sudafricana representa la antítesis del proceso privatizador neoliberal en el sector energético mundial. Una economía que por sus condiciones históricas particulares no pudo estar al alcance de los planes anticrisis promovidos por los organismos financieros internacionales y que por ende no cayó en el juego de los salvamentos financieros condicionados. Más aún, en Sudáfrica se llevó al extremo contrario la idea generalizada que se tiene de una empresa pública, al corporativizar la administración de Eskom y al adoptar como política operativa el pago de impuestos y de dividendos.

Al final del día, queda el precedente de que una empresa energética pública puede tener la capacidad de ser autosuficiente del presupuesto, que puede ser altamente productiva e incluso financieramente rentable para la misma sociedad a la

⁴¹ Un análisis sobre la economía mexicana en esta etapa neoliberal se puede encontrar en Huerta, 2006.

que sirve. Ejemplos como éste hay que emular en la planeación de estrategias de mediano y largo plazos en las empresas del sector energético mexicano.

Concluyendo. No existe a nivel internacional, ni mucho menos a niveles nacionales, políticas coherentes que intenten orientar el desarrollo del sector energético hacia un nuevo modelo sustentable que armonice en uno sólo objetivos financieros, económicos y ecológicos de largo plazo.

Los esfuerzos del Protocolo de Kioto, así como los de las reuniones de Copenhague del 2009 y de Cancún del 2010, son tan sólo los primeros pasos de un proceso que se antoja largo y penoso por los intereses políticos y económicos que trastocan acuerdos de esta naturaleza.

Las actuales políticas en materia energética, responden a un itinerario ideológico muy específico que utiliza a los organismos financieros internacionales, como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, para presionar a las economías locales a abrir sus sectores energéticos al capital privado internacional para que éste pueda participar de los altos niveles de rentabilidad que sectores estratégicos como el energético producen.

De ahí la urgencia de crear políticas de mediano y largo plazos que conduzcan al sector energético actual a transitar a un nuevo modelo sustentable que reviertan los efectos nocivos que ha generado el modelo actual de energía a nivel económico, financiero y ecológico.

CAPÍTULO 3

Propuesta Alternativa al Actual Modelo de Energía

Un verdadero cambio en el modelo energético mundial debe contemplar profundas modificaciones no solo del lado de la oferta energética si no también del lado de la demanda. Las fuentes de energía tradicional -los combustibles fósiles que representan poco más del 80% del origen de la energía consumida en el mundo- dan forma a la actual oferta de energía. El destino de cada uno de ellos conforma la demanda de fuentes energéticas. De donde destacan dos muy importantes: la industria del transporte –el gran consumidor de petróleo en el mundo- y la industria eléctrica –la principal consumidora de carbón y gas natural-.

Solucionar ambos lados de la ecuación -para con ello detener los efectos de contaminación y dependencia que el actual modelo de energía produce- significa en los hechos proponer un nuevo modelo energético.

En el presente capítulo se analizarán las ventajas técnicas y la viabilidad económica financiera de aprovechar la energía geotérmica en la producción de electricidad, por el lado de la oferta. Para luego complementar la propuesta al proponer un profundo cambio en la industria del transporte, por el lado de la demanda de energía. Eventos que implicarían un arreglo completamente distinto a la estructura actual del modelo energético mundial.

3.1. Cambios por el lado de la Oferta Energética. Producción Geotérmica.

Se debe subrayar la importancia que juega el sector eléctrico en el modelo actual y futuro de energía en el mundo. Importancia que seguirá en aumento en la medida en que las fuentes fósiles de energía se vayan agotando y que sean sustituidas por

fuentes renovables. Ya que todas las fuentes renovables de energía están vinculadas a la producción de flujos eléctricos. Los paneles solares, las turbinas de viento, las hidroeléctricas, la geotérmica e inclusive las plantas nucleares, son fuentes de generación eléctrica. Luego entonces, el papel que jugará el sector eléctrico en el futuro energético mundial en el mediano y largo plazos es de crucial importancia.

El desarrollo de nuevas tecnologías en el hogar, la industria, los servicios y el transporte están y estarán ligadas no al gas natural, ni al petróleo ó sus derivados, si no a flujos eléctricos. Por lo que apoyar el desarrollo ordenado y sustentable del sector eléctrico se convierte ahora más que nunca en factor estratégico para cualquier sistema económico.

En la actualidad dos terceras partes de la energía eléctrica en el mundo son generadas por fuentes fósiles (cuadro 4), el resto proviene por partes iguales de fuentes hidráulica y nuclear. Las fuentes verdaderamente sustentables en el largo plazo, como son las que aprovechan la energía solar, el viento y el calor que guarda la corteza terrestre, no tienen aún ni rastro de la importancia que deberán tener en el futuro⁴².

Cuadro 4. Generación Eléctrica Mundial por Origen (%)

	1973	2008	var %
Carbón	38.3	41.0	7
Gas	12.1	21.3	76
Hidro	21.0	15.9	-24
Nuclear	3.3	13.5	309
Petróleo	24.7	5.5	-78
Otras	0.6	2.8	367
Total Mundial (TWh)	6,116.0	20,181.0	210

Fuente: Agencia Internacional de Energía.

⁴² Una excelente fuente de información sobre los diferentes tipos de energía renovable existentes –con cálculos matemáticos y ejercicios- se puede encontrar en *Renewable Energy Resources* de Twidell 2006, referido en la Bibliografía.

En materia de fuentes hidráulicas aún existe un importante potencial por aprovechar en América del Sur y Asia⁴³ (IEA, b-2008). Y a pesar de ello, el aprovechamiento de esta fuente es limitada y no todas las economías podrán beneficiarse. Amén de la problemática social que acarrea la inundación de tierras y la reubicación de las comunidades afectadas en su construcción.

Las innovaciones tecnológicas que han permitido aprovechar más eficientemente la energía solar y eólica, hace ver que es posible y viable un esquema de generación eléctrica sustentable en el largo plazo. Los posibles problemas técnicos como la intermitencia del flujo eléctrico⁴⁴, pueden ser aminorados gracias a la incorporación de nuevas tecnologías en su manejo. Sin embargo es necesario seguir invirtiendo en su desarrollo para mejorar las tecnologías actuales de explotación con el objeto de obtener un mejor aprovechamiento de estas fuentes, principalmente del flujo solar.

3.1.1. Energía Geotérmica.

La existencia de recursos geotérmicos, en su faceta de productor de energía eléctrica, ha sido largamente ignorada porque se le asocia únicamente con la ocurrencia de fenómenos naturales como las aguas termales ó los *geisers*. Lo cual es completamente falso. Dentro de la corteza terrestre existen abundantes recursos geotérmicos a pesar de que estos no se manifiesten en la superficie en forma de dichos fenómenos.

3.1.1.1. Origen.

Dentro de la corteza terrestre existen gigantescas bolsas de calor asociadas con la composición misma de la tierra –principalmente por la concentración de elementos

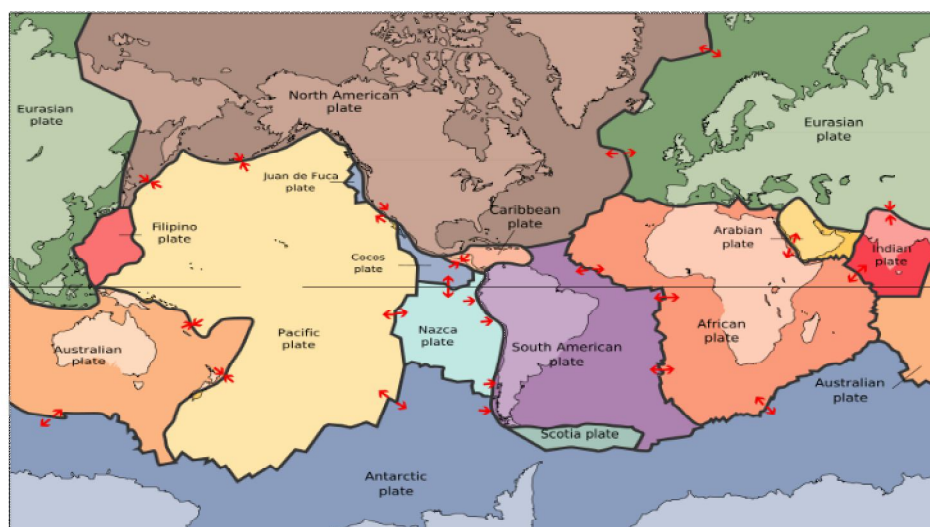
⁴³ Así lo demuestra el hecho de que la planta hidroeléctrica más grande del mundo esté por concluirse en China, con una capacidad de generación de 22.5 GW.

⁴⁴ Las celdas fotovoltaicas así como las torres concentradoras de calor tienen el inconveniente de que sólo funcionan en días soleados. Sin embargo, y en el caso de estas últimas, se ha empezado a utilizar tanques que almacenan líquidos de bajo nivel de ebullición (nitratos de sodio y potasio) que “guardan” el calor para seguir produciendo electricidad durante la noche durante los meses más soleados del año.

radioactivos generadores de calor- y de procesos tales como la convección y conducción que transfieren calor del interior de la Tierra a su exterior.

La presencia de estos yacimientos térmicos aumenta en la medida en que se acerca uno a los bordes tectónicos (gráfica 7) y/o se introduce uno más hacia el centro de la tierra (gráfica 8). Las zonas donde chocan las placas tectónicas así como aquellas donde nacen nuevas placas presentan una gran actividad volcánica y la consecuente presencia de lava a no muy grandes profundidades. Factor fundamental en la existencia de estas enormes “bolsas” de calor dentro de la corteza terrestre.

Gráfica 7. Placas Tectónicas y su Movimiento.



Fuente: Dominio Público.

3.1.1.2. Aplicaciones.

A nivel mundial, la energía geotérmica es aprovechada en forma directa en una amplia gama de actividades industriales como es en el secado de pescado, de planchas de hormigón y de materiales orgánicos, así como en la piscicultura, entre otras y también como fuente de calefacción en lugares con clima muy extremo como en el calentamiento de agua para uso industrial y habitacional, de piscinas, en descongelamiento de exteriores, invernaderos y otros más.

3.1.2. Generación Eléctrica por Fuente Geotérmica.

En materia de producción eléctrica, la energía geotérmica comenzó a ser aprovechada desde hace un siglo. En 1911 en el “Valle del Diablo” en Larderello, en la región Toscana de Italia se construyó la primera planta geotérmica en el mundo, que luego de ser reconstruida después de la Segunda Guerra Mundial, sigue en funcionamiento hasta nuestros días.

En la actualidad son los Geisers, California -la zona geotermal más grande del mundo- donde se concentra cerca del 90% de la capacidad instalada de producción de energía eléctrica por esta fuente en los Estados Unidos (2.5 GW), primer lugar mundial en la materia.

3.1.2.1. Tipos de Sistemas.

Los sistemas geotérmicos de Larderello y los Geisers son catalogados como Hidrotermales, uno de los hasta ahora cinco tipos de sistemas geotérmicos identificados (Arellano, 2008)⁴⁵ y el único que es aprovechado extensivamente para producción eléctrica con fines comerciales.

La energía almacenada en la corteza terrestre es clasificada en cinco grandes categorías o sistemas de acuerdo a sus particulares y/o a los elementos presentes en su entorno que los caracterizan. Por ejemplo, la existencia o no de mantos acuíferos cercanos, su ubicación, la fuente misma de la energía, entre otros. De ahí se desprenden los tipos de Sistemas Geotérmicos actualmente conocidos y que son:

- | | |
|---------------------|----------------|
| a) Hidrotermales, | d) Marinos, |
| b) de Roca Seca, | e) Magmáticos. |
| c) Geopresurizados, | |

⁴⁵ El artículo “Energía Geotérmica” de Arellano, Iglesias y García citado en la Bibliografía, es pieza fundamental de donde se extrajo mucha de la información aquí presentada. Por lo que se recomienda su lectura para un mayor detalle técnico de los temas aquí tratados.

Al ser los sistemas hidrotermales los únicos que actualmente se aprovechan para generar electricidad en forma comercial, vale la pena hacer un análisis mas detallado de los mismos.

Los sistemas hidrotermales son subdivididos a su vez en tres clases:

- i) Vapor Dominante,
- ii) Líquido Dominante de alta entalpía⁴⁶ y
- iii) Líquido Dominante de baja entalpía.

Los sistemas geotermales de Larderello y los Geisers estan catalogados como Sistemas Hidrotermales de Vapor Dominante. Donde la existencia de filtraciones de agua al subsuelo aunado a una intensa actividad volcánica y la consecuente presencia de magma, logran fluidos de vapor seco a la superficie a gran presión y temperatura cercana a 400°C. Lamentablemente son muy pocos los lugares en el mundo con estas características de vapor dominante.

En los Sistemas Hidrotermales de Líquido Dominante de alta entalpía, como Cerro Prieto -la planta de producción eléctrica por fuente geotérmica más importante de México y América Latina-, la temperatura del fluido oscila entre 200°C y más de 300°C.

Mientras que en los Sistemas Hidrotermales de Líquido Dominante de baja entalpía, la temperatura del fluido varía entre los 100°C y los 200°C. Su frecuencia frente al anterior es de 50 a 1 por lo que casi todos los países del mundo cuentan con zonas hidrotermales de esta clase.

En el segundo tipo de Sistemas Geotérmicos: de Roca Seca, la presencia de mantos acuíferos es nula o casi nula, sin embargo son sistemas rocosos de alto contenido energético, abundantes en todo el planeta y se considera una fuente térmica prácticamente inagotable. Países como Estados Unidos, Japón, Inglaterra, Francia y Australia han estado desarrollando tecnologías desde los años 70's para su explotación comercial. Son conocidos con el nombre técnico de Sistemas Geotérmicos Estimulados (SGE) ya que la reserva acuífera es creada o estimulada

⁴⁶ *Entalpía* ó contenido de calor, es una magnitud termodinámica cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, en otras palabras, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

artificialmente para aprovechar la existencia de la fuente de calor⁴⁷. En algunos casos estas plantas han llegado a ser comercialmente rentables, como es el proyecto *Navy 1*, a cargo del Departamento de Energía de Estados Unidos⁴⁸. Es en este tipo de Sistema Geotérmico de Roca Seca y en el desarrollo tecnológico para su cabal explotación donde está la llave de un futuro energético sustentable en materia de producción eléctrica para cualquier sistema económico.

Los Sistemas Geotérmicos Geopresurizados por su parte, se caracterizan por fluidos de mediana temperatura (150°C) que contienen agua y metano disuelto a alta presión. Son muy abundantes pero poco estudiados.

Algo similar ocurre con los Sistemas Geotérmicos Marinos. Precisamente por su ubicación, son sistemas poco estudiados pero de grandísimas proporciones. En el artículo sobre energía geotérmica de Arellano (2008), por citar un ejemplo, se menciona la existencia de un Sistema Geotérmico Marino en el Golfo de California con potencial energético de 100 a 500 veces mayor que el campo geotérmico de Cerro Prieto que por si mismo produce el 3% de la oferta total de energía eléctrica de México.

Por último, los Sistemas Geotérmicos Magmáticos presentan un gran atractivo: las altísimas temperaturas existentes en las cámaras magmáticas de los volcanes activos (superiores a 800°C). Mismas que a su vez dificultan su explotación, debido a las limitantes tecnológicas actuales en el manejo de tales temperaturas.

3.1.2.2. Potencial Geotérmico.

Como se puede imaginar, el potencial térmico –y por lo tanto energético– almacenado en la corteza terrestre es de proporciones mayúsculas. Para tener una idea más concreta de tal magnitud, considérese tan sólo que durante el año 2005 en Estados Unidos se consumió energía equivalente a 100 EJ (exajoules) que es

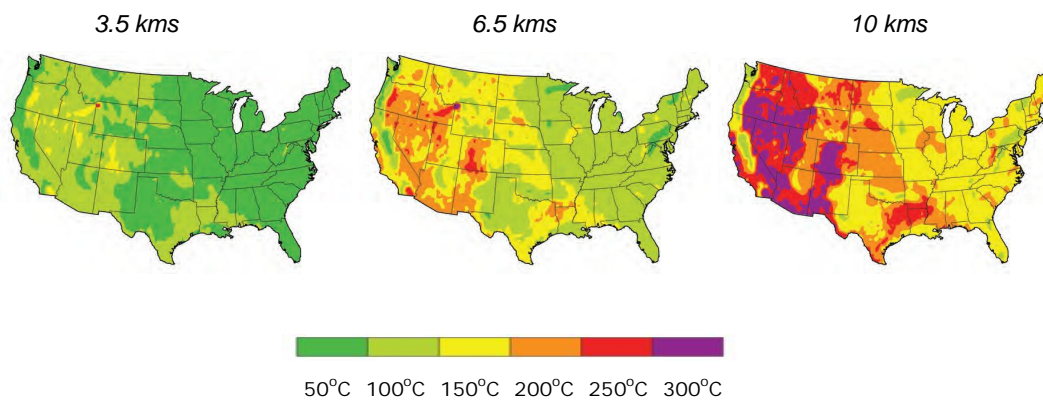
⁴⁷ La ciudad de Santa Rosa, al norte de California, canalizó parte de sus aguas residuales para reforzar la reserva acuífera de la planta geotermal situada a unos 50 kilómetros de distancia. Con lo que se elevará en 85 MW su capacidad de producción. Información detallada en www.energy.ca.gov.

⁴⁸ El proyecto geotermal *Navy 1* en California, es un SGE que ha alcanzado un máximo de 273 MW de generación eléctrica. US Department of Energy.

equiparable energéticamente hablando a 17,200 millones de barriles de petróleo, un promedio diario de 47.1 millones de barriles.

Algunos estudios técnicos⁴⁹ calculan una reserva geotérmica, entre los 3 y 10 kilómetros de profundidad del subsuelo de los Estados Unidos (gráfica 8), en 14 millones de EJ, que equivalen a 140 mil veces la energía consumida en el año 2005 por esa economía. Reserva que podría ser aprovechada a un 40% en el escenario más optimista, al 20% en un rango medio ó tan sólo al 2% si se consideran limitantes tales como el uso del suelo, reservas ecológicas, zonas urbanas, entre otras, que llevarían a la proyección a su nivel más conservador. Por lo que aún en este último caso se podría generar –tomando en cuenta el nivel tecnológico actual de perforación de pozos- energía suficiente para los próximos 3 mil años⁵⁰.

Gráfica 8. Temperaturas del Subsuelo de Estados Unidos a una profundidad de:



Fuente: *The Future of Geothermal Energy*. MIT. Tester (2006). p 28.

Dicho de otra manera, el 2% de los recursos geotérmicos almacenados en el subsuelo de los Estados Unidos equivalen en términos energéticos a 48.2 billones de barriles de petróleo. Monto equivalente a 36 veces la reserva mundial probada de

⁴⁹ Estimado con base al modelo Sanyal-Butler para calcular flujos geotérmicos y que es considerado en el estudio interdisciplinario del MIT. Tester (2006), p 16 y Apéndice A-1.

⁵⁰ El 2% de los 14 millones de EJ que se estima existen en una banda de 3 a 10 kms de profundidad en el subsuelo de los Estados Unidos = 280,000 EJ, entre los 100 EJ de consumo anual.

crudo -de todo tipo- estimada en 1.34 billones de barriles para inicio del 2009 (Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2009*).

Recursos energéticos que -con una inversión no mayor a los mil millones de dólares en investigación y desarrollo tecnológico- podrían ser multiplicados por diez. Lo que se traduce en una veta capaz de satisfacer las necesidades energéticas de la economía más grande del planeta por los siguientes 30 mil años.

No hay que perder de vista que la economía americana consume actualmente poco más del 20% de la totalidad de la energía producida a nivel mundial pese a no alcanzar siquiera el 5% de la población del planeta. Si la energía geotérmica de su subsuelo puede hacer esto por ellos, que no podrá significar para los sistemas económicos menos dependientes de energía. La abundante disponibilidad de estos recursos “dormidos” en el subsuelo convierte a la energía geotérmica en una fuente confiable de explotación en el largo plazo.

3.1.2.3. Tecnología Aplicada.

El aprovechamiento de la energía geotérmica se concreta a utilizar el vapor generado dentro de la corteza terrestre para hacer girar las turbinas de los generadores eléctricos. Comercialmente se utilizan tres métodos o procesos para aprovechar el flujo de vapor o de líquido de alta temperatura proveniente del subsuelo, y son:

- i. Vapor Seco,
- ii. Separación de Vapor y
- iii. Ciclo Binario.

El proceso a Vapor Seco toma su nombre del fluido dominante en el sistema geotérmico. El flujo de vapor es canalizado directamente a mover la turbina del generador, tal y como ocurre en las plantas geotérmicas de los Geisers.

El proceso de Separación de Vapor se utiliza en yacimientos geotérmicos con presencia de fluidos líquidos de alta temperatura, cuyo vapor es separado para mover

la turbina mientras que el líquido es reinyectado al subsuelo. Ejemplo de este proceso es la planta eléctrica de Cerro Prieto en el noroeste de México.

Por último está el proceso de ciclo binario, donde el calor del fluido extraído del subsuelo -que al no ser capaz de mover directamente la turbina del generador- se aprovecha para calentar un segundo líquido de baja ebullición que al evaporarse mueve la turbina. En este proceso el total del fluido proveniente del subsuelo una vez utilizada sus propiedades térmicas es reinyectado a la reserva sin tener forma alguna de “contagio” con el exterior. Esta tecnología está llamada a ser la principal forma de aprovechar las fuentes geotérmicas sobre todo en su explotación mediante los Sistemas Geotérmicos Estimulados.

Gracias a que el flujo de vapor proveniente del subsuelo –creado de forma natural o artificial- es constante, la generación de electricidad –a diferencia de la obtenida por fuente solar o eólica- está garantizada las 24 horas del día los 365 días del año sin importar las condiciones climáticas imperantes. Lo que la convierte en una opción más atractiva financieramente hablando, ya que con ello se acorta el periodo de recuperación de la inversión y puede ofrecer precios más competitivos en la generación de electricidad.

En términos del medio ambiente, su explotación prácticamente no genera contaminantes si se le compara con el uso de fuentes fósiles (cuadro 5). La producción de electricidad por fuente fósil genera al menos 20 veces más contaminantes ambientales que las técnicas más comunes de generación geotérmica (separación de vapor). Sin mencionar que el proceso de ciclo binario es cero emisiones de contaminantes ambientales. Por ello se puede afirmar que la energía geotérmica es completamente limpia desde el punto de vista ecológico.

Cuadro 5. Emisión Gaseosa de diferentes tipos de Plantas Eléctricas en Estados Unidos.

Tipo de Planta	CO ₂ kg/MWh	SO ₂ kg/MWh	NO _x kg/MWh	Partículas kg/MWh
Carbón	994	4.710	1.955	1.012
Petróleo	758	5.440	1.814	N.A.
Gas	550	0.100	1.343	0.064
Geotérmica - separación de vapor	27	0.1588	0	0
Geotérmica - vapor seco	40	0.0001	0.00046	indetectable
Geotérmica - ciclo binario	0	0	0	indetectable
EPA promedio, all US plants	632	2.734	1.343	N.A.

Fuente: *The Future of Geothermal Energy*. MIT. Tester (2006). p 274.

En materia de costos, la perforación de los pozos de extracción y mantenimiento de la reserva y su profundidad son los principales determinantes del costo total de la inversión. Llegando a representar hasta el 60% de este, dependiendo de la composición del suelo, la profundidad y número de los pozos a perforar.

Las plantas geotérmicas convencionales operan pozos no mayores a 5 kilómetros de profundidad, mientras que los SGE pueden llegar a profundidades cercanas a 10 kilómetros, que es la mayor profundidad alcanzada dado el actual nivel tecnológico de perforación. Estas profundidades de perforación son muy similares a aquellas en que se incurre actualmente en la extracción de gas natural y petróleo⁵¹.

De manera tal que, por el origen mismo del recurso presente en cualquier punto del planeta, la energía geotérmica se convierte en un recurso de acceso universal al alcance de cualquier economía⁵². Elementos económicos que junto con el financiero – el cual se detallará más adelante- convierten a la energía geotérmica en una fuente verdaderamente sustentable en el largo plazo.

Luego entonces, su correcta explotación y cabal aprovechamiento ofrece la posibilidad de independencia energética a cualquier sistema económico capaz de

⁵¹ Un detalle en materia de estimación de costos de perforación se puede encontrar en el documento del MIT: *The Future of Geothermal Energy* por Taster 2006, citado en la Bibliografía.

⁵² Ejemplo de ello es que tres naciones subdesarrolladas: Filipinas, Indonesia y México ocupan los lugares dos, tres y cuatro respectivamente de entre los principales productores de energía eléctrica por fuente geotérmica en el mundo. Otros como El Salvador y Costa Rica producen el 22% y el 15% de su electricidad por esta fuente. International Geothermal Association, en www.iga.igg.cnr.it.

sustentar su sector energético en ella. Ya que a diferencia de las fuentes fósiles, prácticamente todas las naciones del mundo cuentan con enormes recursos geotérmicos en su subsuelo.

3.1.3. Explotación Geotérmica en México.

Como se mencionó, México ha ocupado un lugar destacado dentro de los principales productores de energía eléctrica por fuente geotérmica y en la creación de la tecnología necesaria para su explotación.

3.1.3.1. Antecedentes.

Desde finales de los años 50's México comenzó a explorar sus recursos geotérmicos con la instalación de la primera planta de América Latina: Pathé, en el estado de Hidalgo, que estuvo en operación hasta 1973 (Arellano, 2008). Este fue el primer gran proyecto que comenzó a aprovechar los recursos geotérmicos del país y proporcionó la experiencia en el campo tecnológico y en la formación de profesionistas que luego serían los encargados del desarrollo del sistema geotérmico más importante y exitoso de México: Cerro Prieto.

3.1.3.2. Plantas Actuales y Potencial Geotérmico.

Actualmente son cuatro los campos geotérmicos en producción comercial de energía eléctrica en México:

	<i>Ubicación</i>	<i>Capacidad en MW</i>	<i>Inicio de Operación</i>
Cerro Prieto	Baja California	720	1973
Los Azufres	Michoacán	188	1977
Húmeros	Puebla	40	1990
Tres Vírgenes	Baja California Sur	10	2001

Todos ellos han tenido que pasar por diferentes etapas de desarrollo antes de convertirse en campos productores, comercialmente hablando. Este ciclo comienza con una serie de estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos; luego el periodo de perforación exploratoria; y de confirmarse el potencial, le sigue la perforación para explotación comercial y la construcción de la planta productora.

En el caso de Los Azufres por ejemplo, los primeros estudios se iniciaron en los años cincuentas pero fue hasta finales de los setentas cuando se perforaron los primeros pozos productores (Arellano, 2008). Esto no quiere decir que el aprovechamiento de las fuentes geotérmicas tenga que esperar décadas. Con la tecnología moderna, pero sobre todo dependiendo de los recursos humanos y financieros que se le asigne, el tiempo para desarrollar un campo geotérmico se puede reducir a cuestión de uno ó dos años.

A la fecha no existe lamentablemente ningún estudio técnico que calcule el potencial geotérmico del subsuelo mexicano tal y como lo ha hecho para el caso de Estados Unidos el estudio *Futuro de la Energía Geotérmica* del MIT, coordinado por Jefferson Tester (Tester 2006). Sin embargo, se sabe que México cuenta en su plataforma continental con más de dos mil manifestaciones termales que bien pudieran convertirse en puntos de generación eléctrica. Y que bajo sus aguas patrimoniales, como ya se mencionó, en la zona del Golfo de California (ubicado sobre la continuación de la Falla de San Andrés) a unos 30 kms de Puerto Peñasco, Sonora y a 2.6 kms de profundidad, se alberga un campo geotérmico con potencial energético de 100 a 500 veces mayor al de Cerro Prieto⁵³.

Y a pesar del desdén de las autoridades del sector energético mexicano (SENER y CFE) por aprovechar al máximo este potencial geotérmico, este país llegó a ocupar el tercer lugar mundial como productor de energía eléctrica por fuente geotérmica con cerca de 1 GW de capacidad de producción, 3.2% de la generación total (cuadro 3),

⁵³ El estudio de este campo geotérmico submarino fue el tema de Tesis Doctoral de M.C. Suárez en el año 2000 (*Flujos de Fluidos No-Isotérmicos en Reservorios Fracturados con Porosidad y Permeabilidad Múltiples*. UNAM), citado en Arellano (2008).

sólo atrás de Estados Unidos con capacidad de producción de 2.5 GW y de Filipinas con cerca de 2 GW. Hoy Indonesia, con 1.2 GW, lo ha desplazado al cuarto sitio⁵⁴.

Se está hablando de tres países considerados económicamente subdesarrollados quienes aprovechan hoy en mayor o menor medida sus fuentes geotérmicas. Tal y como lo hacen economías desarrolladas como Estados Unidos, Italia y Japón. La clave de su éxito ha sido su voluntad de invertir en el desarrollo de tecnología y en su aplicación. Inversión que debe pasar a un nuevo nivel de desarrollo con la utilización de los sistemas geotérmicos estimulados (SGE). Es ahí donde se encuentra el verdadero despegue energético para economías de mayor tamaño como la mexicana.

3.1.3.3. Evaluación de Resultados.

Debe decirse que es el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) el organismo del Estado Mexicano encargado de realizar la investigación científica en el sector eléctrico como apoyo a la CFE⁵⁵. Y que cumple con objetivos similares al del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) con respecto a PEMEX. Estas instituciones de investigación pueden y tienen acceso al talento científico nacional producido por las instituciones de educación superior⁵⁶. Por lo que la creación de tecnología propia en el sector eléctrico no es necesariamente un obstáculo. El gran problema radica en la falta de apoyo y de interés por parte de las últimas cinco administraciones (neoliberales) para llevar a su aplicación esas nuevas tecnologías; para desarrollar verdaderos proyectos de generación alternativa de energía en todo el país.

Ya que atendiendo a la política de contracción del gasto público que el esquema neoliberal impone al estado mexicano para no invertir en nuevos desarrollos en el sector energético, el gobierno ha sustentado el crecimiento del sector eléctrico en la inversión privada (extranjera toda ella) mediante la creación de nuevas plantas de

⁵⁴ De acuerdo con información del IIE citado en la *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024* (2009). p 47.

⁵⁵ El IIE cuenta con un área de Energía Alterna, donde se ubica la Gerencia de Geotermia [IIE]. También la CFE cuenta con una Gerencia de Geotermia, encargada del desarrollo de proyectos referentes a la explotación de esta fuente energética [CFE].

⁵⁶ En el decreto del 2001, se establece que en el Consejo de Dirección del IIE deberá haber un representante de las universidades Nacional Autónoma de México y Autónoma Metropolitana, así como del Instituto Politécnico Nacional y del CONACYT.

ciclo combinado (a gas). Producción que viene desde su inicio amarrada al uso de tecnologías e insumos importados y donde el IIE y muchos industriales nacionales no tienen nada que hacer.

Otra fue la experiencia del IMP, porque luego de la nacionalización de los activos de las empresas petroleras en 1939 y del bloqueo tecnológico y de refacciones que impusieron a México las compañías petroleras trasnacionales, PEMEX se vio en la necesidad de crear sus propias tecnologías, apoyándose en la investigación tecnológica que se realizó en el IMP logró sobrevivir y destacar a nivel internacional.

En la innovación tecnológica del sector eléctrico nacional no ha ocurrido lo mismo. Por ejemplo, los pocos campos de aprovechamiento eólico operados por la CFE ó en forma privada, han sido y son mandados a construir exprofeso a empresas extranjeras como las españolas *Iberdrola* y *Acciona* o la danesa *Vestas*. Mas aún las turbinas y generadores –que son el corazón mismo de la generación eléctrica- utilizados en el desarrollo geotérmico mas importante de México –*Cerro Prieto*- y en todas las hidroeléctricas del país han sido abastecidas por corporaciones industriales norteamericanas, asiáticas o europeas.

Por ello, a México le urge crear y desarrollar con tecnología propia una o varias empresas nacionales que sean capaces de construir las turbinas y generadores que el sector eléctrico nacional demanda y demandará en el futuro como parte de un gran proyecto nacional para construir cadenas productivas endógenas que fomenten la actividad industrial y económica a nivel interno⁵⁷.

Sustentar un sistema eléctrico que dependa de fuentes renovables como la geotérmica, solar y eólica –con tecnologías propias- para dejar de depender de los combustibles fósiles, es el primer gran paso para modificar el actual modelo energético mundial.

⁵⁷ La experiencia de Corea del Sur en materia de industrialización es más que ilustrativa en la formación de cadenas productivas domésticas y en el papel que en materia económica puede llegar a jugar el Estado. El milagro Mexicano que reportó tasas de crecimiento económico por arriba del 7% anual en un periodo de 12 años (1958-1970), palidece frente al 7.8% promedio anual que logró Corea del Sur por mas de 40 años consecutivos, de 1960 al 2000, a pesar de la crisis asiática de 1997-1998. Véase a Yun-Shik (2009) citado en la Bibliografía.

3.2. Cambios por el lado de la Demanda Energética. Uso racional de la Energía.

La producción mundial de crudo esta por alcanzar su máximo histórico en el corto plazo, por lo que vendrá tarde ó temprano una caída paulatina y constante de dicha producción (IEA, b-2008). Que se traducirá en un crecimiento constante de los precios del crudo y sus derivados tal y como ocurrió en el año 2008, cuando el precio internacional del crudo alcanzó los 145 dólares por barril.

3.2.1. Industria del Transporte.

Por otro lado, la industria del transporte consume poco más del 60% de la oferta mundial de crudo en forma de gasolinas y aceites (gráfica 1). Mientras que el 60% de la reserva mundial de crudo se concentra en tan sólo 6 economías⁵⁸. Lo que implica que la inmensa mayoría de economías en el mundo son o serán importadoras netas de crudo, principalmente para satisfacer sus necesidades de transportación. Disminuir significativa la dependencia del crudo, se traduciría en el cierre de una de las mayores sangrías financieras para la mayoría de los sistemas económicos en el mundo.

Además que, de acuerdo con recientes investigaciones, la industria del transporte –en particular los vehículos automotores- es la fuente primaria de contaminación ambiental en todas las grandes ciudades del planeta (Molina, 2005). A pesar de la introducción de exitosas tecnológicas en el control de gases emitidos por el parque vehicular (como es el convertidor catalítico de tres vías), las emisiones vehiculares continúan produciendo numerosos tipos de gases⁵⁹ con efectos altamente nocivos para la salud humana y la del medio ambiente.

⁵⁸ Arabia Saudita: 19.5%, Irán: 10.4%, Irak: 8.6%, Kuwait: 7.6%, Venezuela: 7.5% y Abu Dabi: 6.9%, de una reserva mundial de 1.3 billones de barriles de crudo. Con base en información del American Petroleum Institute. *Energizing America*, Junio 26, 2009.

⁵⁹ Entre los que destacan: butadieno, formaldehído, benceno, alquenos, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos aromáticos, partículas suspendidas, plomo, monóxido y bióxido de carbono entre otros. Y cuya peligrosidad o tiempo de permanencia en la atmósfera va de un par de horas para el butadieno, hasta los tres o cuatro años para el bióxido de carbono. Un análisis detallado de la composición química de los contaminantes ambientales se puede encontrar en Molina, 2005 referido en la Bibliografía.

En la Ciudad de México por ejemplo, la industria del transporte produce el 99% del total de bióxido de carbono, 82% de los óxidos de nitrógeno, 62% de las partículas suspendidas_{2.5} y el 23% de las partículas suspendidas₁₀, lo mismo que de carbono orgánico total, carbono orgánico volátil y amoniaco que son emitidos en esa zona urbana⁶⁰. Y se estima que una disminución de tan sólo el 10% de los niveles de contaminantes ambientales en el Valle de México se traduciría en beneficios económicos equivalentes a por lo menos dos mil millones de dólares anuales (Molina, 2005).

Concientes de esto, la industria automotriz ha intentado mejorar los estándares de eficiencia de sus vehículos. Prueba de ello son los autos híbridos, que se auxilian de un motor eléctrico para economizar gasolina en los momentos en que no es necesaria la potencia del motor a gasolina. Con ello logran niveles de eficiencia (millas por galón o kilómetros por litro) que llegan a duplicar a la de los motores convencionales a gasolina (cuadro 6). Y sin embargo el uso de gasolinas en dicha tecnología continúa como constante.

Cuadro 6. Comparativo de Rendimiento de vehículos nuevos de pasajeros.

Modelo	Rendimiento (mls*g)		Cilindros	Peso Bruto (libras)
	Ciudad	Carretera		
Toyota - Prius (híbrido)	51	48	4	3,042
Ford - Fiesta	29	40	4	2,790
Nissan - Tsuru/Sentra	26	34	4	2,862
Honda - Civic	26	34	4	2,749
Toyota - Corolla	26	35	4	2,723
VW - Jetta	23	30	4	3,230
Toyota - Camry	22	33	4	3,263
Ford - Expedition (SUV)	14	20	8	6,071

Fuente: Sitio web de cada uno de los fabricantes.

El verdadero cambio en la industria automotriz está en el uso de vehículos 100% eléctricos, que eliminan por completo la necesidad de gasolinas y aceite lubricantes y

⁶⁰ Información tomada de la Secretaría del Medio Ambiente, Ciudad de México. Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio 2006. www.sma.df.gob.mx

que por consiguiente reportan cero nivel de contaminación ambiental. Tecnología que comienza ha ser aprovechada en forma comercial por algunos de los principales conglomerados automotrices.

El uso de vehículos eléctricos de pila recargable, elimina de entrada la necesidad de una red de abastecimiento de combustibles y los problemas de tráfico y mayor generación de contaminación ambiental que acarrea su transportación. Sí se necesitará por otro lado, instalar una red de tomas de corriente en lugares de acceso público como estacionamientos, centros comerciales y en algunas vialidades donde, al estar estacionados los vehículos, pudieran estar recargando sus baterías al mismo tiempo.

En este esfuerzo por implementar un cambio profundo a las formas en que nos transportamos todos los días, falta un fuerte impulso a nivel político y social. Las autoridades reguladoras de la industria automotriz necesitan establecer controles estrictos sobre la emisión de gases contaminantes e implementar programas que ordenen la transición a vehículos eléctricos o de tecnologías que no dependan de combustibles fósiles⁶¹. Acción que aunque lógica y beneficiosa para la sociedad en su conjunto -y para el medio ambiente en general- es altamente difícil de tomar en el ámbito político, ya que las transnacionales afectadas ejercen una gran influencia en la toma de decisiones gracias a la danza de dinero que apoya ó bloquea políticos y políticas en todo el mundo.

En Estados Unidos por ejemplo y luego de casi cuarenta años sin actualizar, la administración del presidente Obama inició en mayo del 2010 el proceso para elevar los niveles mínimos de eficiencia requerida para vehículos automotores ligeros que los llevará a 35.5 millas por galón para el 2016. Una medida a todas luces positiva pero sin embargo muy modesta dado el nivel actual de contaminación ambiental que enfrenta el mundo y del grado de dependencia a los hidrocarburos por parte de esa economía.

⁶¹ La otra alternativa experimental en la industria del transporte es el uso de hidrógeno. Sin embargo al no ser un elemento químico de fácil obtención a nivel industrial y al reproducir la problemática de distribución (almacenamiento y transportación) que tienen las gasolinas, se deberá hacer un análisis profundo de su *footprint* en materia de CO₂.

En el caso mexicano, la situación no es nada mejor. De acuerdo al Centro Mario Molina, México junto con Islandia, son los únicos países miembros de la OCDE que no cuentan con un marco legal que regule su industria del transporte en materia de emisiones de contaminantes. Una de las tres ciudades más pobladas del planeta, como lo es la Ciudad de México cuya situación geográfica complica la dispersión de gases contaminantes, no cuenta con regulaciones en su industria del transporte, ni en los vehículos que circulan a diario por sus carreteras⁶². ¿Quién o quienes se benefician de la ausencia de dicha regulación y quienes son los perjudicados por ello? Esas son las preguntas abiertas a la discusión.

La industria del transporte, pero sobre todo la fabricación de vehículos de pasajeros, debe ser regulada por las autoridades del ramo en el marco de un plan maestro que guíe la transición hacia la producción de vehículos completamente eléctricos o de tecnologías no dependientes de fuentes fósiles. No solo elevando los mínimos de eficiencia de combustible como se pretende en Estados Unidos, sino también ordenando que un porcentaje progresivo de la producción total de vehículos nuevos incorporen estas nuevas tecnologías limpias.

Ejemplo de una acertada política pública en la materia, sería el plantear que dentro de un plazo financiera y tecnológicamente razonable de cinco años, al menos el 20% de la producción total de nuevos vehículos de cada una de las empresas automotrices correspondan a vehículos eléctricos o de tecnologías limpias. Y a partir de ahí cada año se incremente ese porcentaje en 8 puntos porcentuales, para llegar - luego de quince años de aprobada dicha ordenanza- a que el 100% de la producción de vehículos nuevos de pasajeros utilicen tecnologías libres de fuentes fósiles. Vehículos eléctricos, solares, de hidrógeno o cualquier otra tecnología que no dependa del uso de fuentes fósiles.

Y al ser los autos nuevos de hoy, los vehículos usados del mañana, el proceso de sustitución de toda la planta vehicular se daría automáticamente con el tiempo de forma ordenada y natural. Esa sería una excelente política pública para ordenar la

⁶² En 1996, el sector del transporte en el área de la Ciudad de México consumía el 53% del total de la oferta energética de la zona, principalmente en forma de gasolinas y diesel (Molina, 2005).

transición de la industria del transporte hacia un esquema de sustentabilidad sin menoscabo del interés de los actuales productores de vehículos automotores.

Por ello se debe decir con toda firmeza que la verdadera solución de fondo -a la dependencia energética y a la generación de gases de efecto invernadero- es la eliminación por completo del uso de combustibles fósiles en la industria del transporte. Sin embargo, existen enormes y poderosos intereses creados que luchan en contra de un verdadero cambio en las formas y tecnologías usadas en los sectores del transporte y energético a nivel mundial, por lo que la solución a los problemas que en el mediano y largo plazos se irán agudizando (contaminación y dependencia) sólo serán resueltos con una verdadera revolución en las formas de generar y utilizar nuestros recursos energéticos.

3.2.2. Industria del Petróleo.

Como se ha mencionado, el petróleo como materia prima es la base de diferentes procesos productivos. Uno de ellos es la generación de combustibles y productos relacionados con la industria del transporte. La otra gran división del sector petrolero es la producción de petroquímicos.

Es en esta segunda gran división donde el petróleo desencadena procesos productivos con mayor valor agregado que el simple hecho de producir gasolinas. Los petroquímicos son la materia prima para crear un muy amplio abanico de insumos que van desde la creación de plásticos y fibras sintéticas, pasando por medicamentos, hasta llegar a fertilizantes (IMP). Industrias como la textil, del calzado, tapicera, pinturas, automotriz, cosméticos, farmacéutica, del juguete, muebles, entre muchas otras más, obtienen sus materias primas de los derivados del petróleo y del gas natural. Irónicamente son los países desarrollados –los mayores importadores de crudo en el mundo- los principales productores de estos productos petroquímicos y no los países petroleros como se pudiera suponer.

De ambas premisas se concluye, que el verdadero valor económico del petróleo reside en su aprovechamiento como materia prima que desencadena procesos

productivos de mayor valor agregado y no como mera fuente de movimiento en la industria del transporte ó en la generación de energía eléctrica.

La creación y el desarrollo de tecnologías y procesos productivos endógenos para su óptimo aprovechamiento deben ser prioritarios en todo esquema de desarrollo económico de mediano y largo plazos. Por lo que la industria del transporte puede y debe buscar sus fuentes de movimiento en combustibles como la electricidad, para permitir que los hidrocarburos tengan un mejor aprovechamiento económico y social.

3.3. Viabilidad económica.

La viabilidad económica de los cambios propuestos al actual modelo energético mundial -por el lado de la oferta: generación eléctrica por fuente geotérmica, y por el lado de la demanda: producción de vehículos eléctricos- está más que comprobada en los hechos.

Las plantas geotérmicas de los Geisers y Cerro Prieto son muestra clara de la aplicación de una tecnología calificada por los especialistas en la materia como *madura* en la generación eléctrica (Arellano, 2008). Se cuenta además con una experiencia ya de medio siglo a nivel nacional y de un siglo a nivel internacional en el desarrollo y aplicación de esta tecnología.

Para el caso particular de México y según información de la Secretaría de Energía (cuadro 7), el llamado “costo nivelado” (que es una dato estrictamente financiero) de producción eléctrica por fuente geotérmica y eólica es superior al de las opciones que consumen gas y carbón. Sin embargo, habría que añadirle a estas últimas el costo a valor presente de los daños que las millones de toneladas de CO₂ producirán al medio ambiente en el largo plazo⁶³ o de las futuras variaciones especulativas del precio del crudo y del gas natural en el mercado internacional. Tampoco se contabiliza el costo de un posible accidente nuclear en las plantas o en el manejo de los desechos radioactivos que estas producen, y que elevaría dramáticamente el costo financiero de aquellas opciones basadas en fuentes no renovables.

⁶³ En el Apéndice Estadístico se anexa un cuadro donde se ofrecen varios escenarios del valor presente del Costo del Cambio Climático para los próximos cien años.

Cuadro 7. Costos de Generación por Tecnología.
(Dólares de 2009, 14.50 pesos por dólar)

	Construcción y Administración USD / kW	Combustible, Oper. y Manten. USD / MWh	Nivelado (incluyendo ambos) USD / MWh	Emisiones Ton CO ₂ eq/MWh	Tiempo de Construcción Años
Ciclo combinado	973	58	74	0.4	2.5
Carbón	2,323	41	80	0.8	3.5
Geotérmica	2,169	48	82	-	2.3
Nuclear	5,000	19	84	-	8.0
Hidro	2,250	4	96	-	5.0
Eólica	2,360	13	110	-	1.0
Turbogás	650	86	152	0.7	1.0

Fuente: Estrategia Nacional de Energía 2010, Secretaría de Energía. P 22.

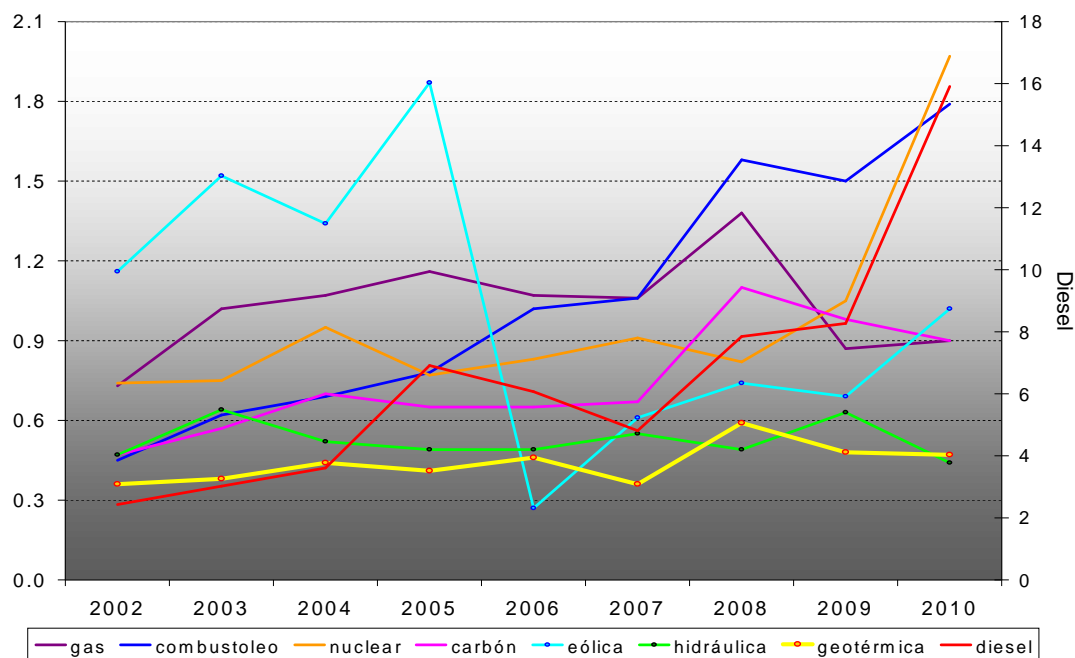
Por si esto fuera poco, y tomando en cuenta que la producción de combustibles fósiles a nivel internacional está por entrar en su curva decreciente de producción, habría que preguntarse cual será el costo del gas⁶⁴, del carbón y del uranio en los próximos cinco, diez, quince ó veinte años. Y cómo repercutirán esos nuevos precios en el “costo nivelado” de producción de cada una de esas fuentes de generación eléctrica. Porque las plantas eléctricas construidas hoy, seguirán necesitando esos combustibles a lo largo de toda su vida útil, y que va de 30 años para las plantas de ciclo combinado y de carbón a 50 ó más años para las nucleares.

Por todo ello, se puede afirmar con toda seguridad que el *costo económico* –que debe ser el principal elemento que guíe las decisiones de inversión en la planeación de un sector energético sustentable- de la producción eléctrica por fuente geotérmica es el más bajo de todas las opciones actuales de generación. Sin mencionar que futuras inversiones en el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías en este campo – así como en el eólico y solar- se traducirán en menores costos financieros de generación.

⁶⁴ En plantas eléctricas de ciclo combinado, el costo variable de operación –formado en su mayoría por el costo del combustible utilizado- justifica más de la mitad del costo total de generación. Lo que lo convierte en el principal factor a evaluar en la proyección del precio futuro de generación.

Continuando con el caso mexicano, en un análisis dinámico del costo de generación eléctrica (gráfica 9), el costo promedio de producción geotérmica (0.439 pesos por kWh) está muy por debajo de cualquier otra opción que maneja la CFE (hidro 0.524, carbón 0.743, nuclear 0.977, combustóleo 1.054 ó gas 1.029) en los últimos nueve años de los que se dispone de información⁶⁵.

Gráfica 9. Costo en Pesos por kWh



Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El uso de las fuentes geotérmica, eólica y solar -al quedar fuera del alcance de la especulación bursátil y de la volatilidad que presentan los precios de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural-, no representa un problema más de balanza de pagos como ocurre con el uso de combustibles fósiles en economías dependientes de la importación de estos insumos.

⁶⁵ Si bien es cierto que no se han realizado grandes inversiones en el segmento geotérmico mexicano en los últimos años –lo que se ha traducido en que el rubro de amortizaciones se mantenga muy bajo y por ende el costo de producción final-, lo mismo se puede decir del segmento nuclear, donde la única planta de este tipo fue conectada a la red de la CFE en 1989, y aún así el costo promedio por generación nuclear ha sido de casi el doble del de la producida por fuente geotérmica.

Por su parte, los motores eléctricos han sido utilizados desde hace más de un siglo en múltiples aplicaciones. No se habían incorporado a la industria automotriz porque aún no se contaba con la tecnología que ahora se tiene en el almacenamiento de energía eléctrica con las baterías de litio recargables.

Sin embargo, el concepto de usar motores eléctricos en la industria automotriz es de lo más simple tecnológicamente hablando. De hecho, los motores de los vehículos híbridos actuales son tecnológicamente más complejos que aquellos completamente eléctricos. Claro que estos últimos pueden llegar a ser tan complejos como se quiera⁶⁶. En todo caso, son productos cuyo costo irá disminuyendo en la medida en que aumente su demanda y se perfeccionen las tecnologías utilizadas en ellos.

Los cambios propuestos a ambos lados de la ecuación energética actual no entrañan retos tecnológicos inalcanzables, porque son en ambos casos tecnologías maduras ya experimentadas. Lo que sí precisan es de una enorme voluntad política para llevarlos acabo, voluntad que sólo se logrará con el empuje de la sociedad misma a través de su interés en el tema y su participación en la toma de decisiones.

3.3.1. Proyecciones.

A pesar de que un análisis detallado de la proyección de la demanda futura de electricidad queda fuera del alcance del presente trabajo, si hay sin embargo, algunos elementos importantes a destacar con la intención de enriquecer el debate sobre el particular.

La demanda futura de energía eléctrica sustentable a nivel nacional e internacional estará determinada por dos factores: a) por el crecimiento esperado de la demanda eléctrica total por un lado y b) la tasa de sustitución de los antiguos productores por fuente fósil. Por lo que la ecuación será algo como lo siguiente:

$$DT_{EES} = DE + SAP_{FF}$$

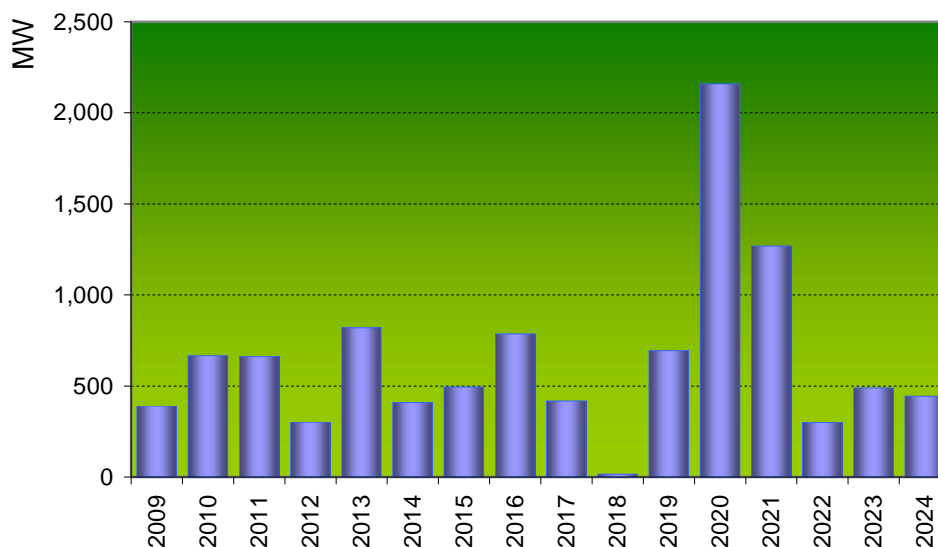
⁶⁶ Volvo-Siemens desarrolla el concepto de usar un motor eléctrico en cada una de las ruedas del vehículo. Nissan-Renault apuesta a los vehículos eléctricos de pila recargable e intercambiable. General Motors y Tesla a los vehículos de pilas fijas recargables, por citar algunos ejemplos.

DT_{EES} : Demanda Total de Energía Eléctrica Sustentable.
 DE : Demanda Esperada.
 SAP_{FF} : Sustitución de Actuales Productores por Fuente Fósil.

La parte menos incierta de la proyección es esta última, la referente a la tasa de sustitución de los productores ya instalados en el sector (SAP) que deben ser reemplazados al final de su vida productiva. Ya que es información calendarizada y bajo pleno control de las autoridades del ramo.

Para caso mexicano y con base en la información de la Secretaría de Energía, se espera un retiro de 9.92 GW de capacidad de producción eléctrica para los siguientes quince años (gráfica 10), y que forman parte de un total de 32.1 GW de capacidad requerida para el mismo periodo.

Gráfica 10. Programa de Retiros de Capacidad Eléctrica en México.



Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, p 138.

En esa misma fuente⁶⁷ se desglosa la creación de proyectos geotérmicos, solares y eólicos –con nombre y apellido- para ese mismo periodo, resumiéndose estos en: eólicos 506 MW, geotérmicos 311 MW y solares 0 (cero) MW. Que juntos representan tan sólo el 8.2% de la capacidad total por retirarse ó si se quiere ver desde otra

⁶⁷ Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, p 137.

perspectiva, tan sólo el 2.5% de la capacidad eléctrica total por crearse en los próximos quince años. Lo que da cuenta del grado de compromiso que los actuales administradores del Estado Mexicano tienen con el desarrollo de estas importantísimas fuentes sustentables de generación eléctrica.

Por otro lado, determinar la tasa de crecimiento futuro de la Demanda Esperada (DE) de energía eléctrica –la primera parte de la ecuación- depende enteramente de la política económica de mediano plazo que se aplique. Es preciso un desglose lo más específicamente posible de cada uno de los sectores y subsectores económicos para evaluar su impacto final en el crecimiento de la demanda total de energía eléctrica. Es decir, se tendría que desarrollar una matriz lo más detalladamente posible para ponderar los cambios sectoriales particulares y su repercusión en la demanda total final de energía eléctrica.

Volviendo al caso de México por ejemplo, los principales consumidores de electricidad son el sector industrial con el 56% y el residencial con el 28% (cuadro 8).

Cuadro 8. Ventas Nacionales de Electricidad, 2009 (peta joules)

Sector	Consumo	%
Industrial	305	55.5
Residencial	154	28.1
Comercial	35	6.4
Agrícola	33	6.1
Servicios Públicos	22	4.0
	549	100.0

Fuente: CFE, Informe Anual 2009. Balance de Energía Eléctrica.

El resultado de la proyección de la demanda total de energía eléctrica se vería afectado sensiblemente si el sector industrial mexicano fuera favorecido por una política económica de apoyo y fomento a la creación de cadenas productivas endógenas; si se implementara una política integral de apoyo al campo que buscara la autosuficiencia alimentaria; de la creación de un programa de producción de vehículos eléctricos -con tecnología doméstica- que fuera acompañado de un plan nacional de

sustitución gradual de la actual planta de vehículos a gasolina, por citar algunas políticas económicas.

Otro sería el resultado de la proyección si no se siguiera una política como la antes mencionada y sí una de apertura comercial indiscriminada que obligara a cerrar un sin fin de empresas domésticas; que arrasara con la producción del campo y que deprimiera la actividad económica doméstica mediante la contracción del gasto público y la política de disciplina fiscal.

Como se puede apreciar, la proyección del crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el mediano y largo plazos va más allá de un simple cálculo de extrapolación del crecimiento del PIB. Tiene que ver con la existencia, protección y fomento de cadenas productivas a nivel doméstico en el corto y mediano plazos. Por lo que así como se han podido desarrollar tecnológicamente hablando fuentes sustentables y viables de producción eléctrica, también urge encontrar y desarrollar las fuentes sustentables y viables de desarrollo económico para el país en el mediano y largo plazos.

3.3.2. Fuentes de financiamiento.

Sustituir el actual modelo energético implicará fuertes inversiones de mediano y largo plazos que deberán ser financiadas de alguna forma. Por lo que a continuación se desglosa una fuente viable de financiamiento.

En toda política de desarrollo económico y social, el acceso al trabajo y el derecho a una pensión decorosa están llamadas a jugar un papel fundamental. Y son precisamente estos recursos para el retiro -que por su horizonte de inversión en el tiempo y por su magnitud en el monto- los únicos capaces de financiar inversiones de largo plazo como las que demanda el desarrollo de un nuevo sector eléctrico sustentable.

No se precisaría de divisas porque se parte del supuesto de que el desarrollo de estos proyectos de infraestructura estratégica debe ser utilizado como detonador endógeno de crecimiento económico. Que utilice y fomente la creación de tecnología

y el aprovechamiento de insumos domésticos para generar con ello ciclos virtuosos de crecimiento y bienestar económico.

Para el caso mexicano, la Ley de los Sistemas de Ahorro para el Retiro⁶⁸ ordena atinadamente canalizar las inversiones de estos recursos a *“fomentar a) la actividad productiva nacional, b) la mayor generación de empleo, c) la construcción de vivienda, d) el desarrollo de infraestructura estratégica del país y e) el desarrollo regional”*. Y sin embargo, la reglamentación del manejo de estos recursos los ha orientado exclusivamente a la especulación bursátil⁶⁹. Por lo que se debe volver a retomar el espíritu de la ley y llevarla a la práctica.

Utilizar parte de los 1.5 billones de pesos de las cuentas de retiro para que -en lugar de estar engrosando el mercado especulativo bursátil nacional e internacional ó financiando proyectos en beneficio de empresas particulares- financie la construcción de la infraestructura energética y de otros tantos proyectos que el país demanda, a través de la creación de bonos de desarrollo.

En conclusión. El desarrollo de tecnologías capaces de aprovechar con mayor eficiencia los recursos renovables -como la energía solar, el viento y la geotérmica- son el fundamento de un verdadero cambio en el modelo energético actual. Dos son las piezas clave que deben ser modificadas para generar un nuevo modelo energético a nivel nacional y mundial.

La primera de ellas consiste en modificar por completo la forma en que generamos la energía eléctrica. Esta debe girar en torno al uso de fuentes sustentables de largo plazo, de donde destaca el uso de la energía geotérmica y se complementa con la solar y la eólica.

El segundo elemento clave de este nuevo modelo energético se fundamenta en el uso generalizado de vehículos eléctricos en la industria del transporte, para dejar de

⁶⁸ Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de mayo de 1996.

⁶⁹ Según información de la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR), a cierre de junio del 2011 se contaba con recursos a valor de mercado de 1.46 billones de pesos, invertidos de la siguiente manera: en acciones de empresas nacionales y extranjeras 18.14%, financiando proyectos privados nacionales y extranjeros 20.61% y en valores gubernamentales 58.62%. Cabe hacer notar la aparición de un nuevo rubro en esta cartera de inversión que con el nombre de “instrumentos estructurados” tiene el 2.62% de la inversión total. 38 mil millones de pesos han sido invertidos en *instrumentos derivados*. No olvidemos que fueron estos instrumentos derivados los que provocaron el colapso financiero de Wall Street a finales del 2008. consar.gob.mx.

consumir hidrocarburos como fuente de movimiento y sí como materia prima de procesos productivos de mayor valor agregado.

Ambas son premisas complementarias e imprescindibles para lograr un nuevo arreglo en la forma en que se produce y se consume la energía en el mundo moderno. Si se logra aprovechar las fuentes de energía que han existido siempre a nuestro alrededor en la generación de electricidad, se estará cambiando la demanda de fuentes fósiles en beneficio del medio ambiente y a favor de la independencia energética de todo sistema económico.

Conclusiones

Las externalidades que el actual modelo energético produce en materia de medio ambiente y de finanzas públicas en las economías dependientes de fuentes fósiles de energía, tienen una solución relativamente sencilla si se analiza desde una perspectiva meramente tecnológica, más aún si se antepone el beneficio social sobre el de los intereses corporativos privados. Sin embargo, el asunto se convierte en un embrollo casi sin solución cuando se pretende solucionar los problemas del sector energético sin dañar los poderosos intereses de las grandes empresas privadas que hoy dictan las políticas energéticas a nivel nacional e internacional.

La verdadera solución a la creciente contaminación del medio ambiente, así como la agudización de la dependencia energética -y de los consiguientes problemas en las finanzas públicas que trae consigo la reproducción del actual modelo energético- solo se conseguirá cuando la sociedad misma sea capaz de así exigirlo a sus gobernantes. Mientras esto no suceda, los intereses privados seguirán dominando las políticas públicas en materia energética y no se podrá consolidar un verdadero cambio hacia modelos sustentables de largo plazo.

El desarrollo, uso y cabal aprovechamiento de la energía geotérmica en la generación de electricidad, representa una veta de increíbles beneficios no solo en el ámbito energético, económico y de finanzas públicas, sino que también ofrece las bases para sustentar procesos de desarrollo material enmarcados en una nueva filosofía de respeto e interdependencia con la naturaleza.

El sistema energético mexicano, más allá de sus particularidades que lo caracterizan, es claro ejemplo del actual patrón que rige al Modelo Energético Mundial y por ende, el diagnóstico y las soluciones presentadas en el presente trabajo le aplican de la misma manera. Es verdaderamente lamentable que contando con el

capital humano, los recursos materiales y tecnológicos para llevar a cabo una profunda reconversión de su sector energético, México continúe incrementando su dependencia de fuentes fósiles y del uso de tecnologías externas.

Este país cuenta con el ejemplo histórico de cómo Petróleos Mexicanos pudo alcanzar niveles internacionales de excelencia desarrollando tecnologías propias. Existe actualmente en el país experiencia tecnológica de primer nivel en el aprovechamiento de fuentes geotérmicas, un marco legal que faculta al Estado a desarrollar esta fuente energética, una estructura administrativa y operativa lista para su explotación masiva. ¿Por qué no se hace? ¿Por qué se desperdician todos estos elementos? ¿Es acaso por ignorancia de parte de los actuales administradores del Gobierno Mexicano, o responde a una acción deliberada en beneficio de terceros?

Dice el presidente del Ecuador, Rafael Correa, que “América Latina está saliendo de la larga noche que el neoliberalismo ha representado”; yo diría que más que una larga noche parece ser un nuevo periodo como el obscurantismo medioeval. En tres décadas de neoliberalismo en México, los conceptos de soberanía, independencia y justicia social han perdido toda vigencia y el valor histórico que deberían tener si se mira -aunque sea de reojo- la Historia de esta gran nación. Y ya no se diga de los conceptos de racionalidad y lógica en la toma de decisiones de política económica.

Debemos iniciar como sociedad nuestro periodo de renacimiento en todas las esferas del quehacer público; traer la luz para terminar de una vez con el obscurantismo fanático de doctrinas eficientistas de libre mercado; buscar el verdadero desarrollo del país en el ámbito económico, social, humano y cultural sin atentar contra el medioambiente; establecer metas y objetivos con visión de largo plazo, con grandeza de miras –como acertadamente afirma el Dr. Muñoz Ledo- y superar de una vez por todas el entreguismo fácil que ha caracterizado al periodo neoliberal del México contemporáneo y que tiene postrado al país en una de sus peores etapas de la historia.

Tal y como se expuso, la explotación de las fuentes térmicas –incluida en estas al mismo astro rey- es tan sólo el principio de una serie de cambios tecnológicos por los que la humanidad deberá transitar antes de acceder a estadios más avanzados en su

proceso evolutivo como ser racional, capaz de aprovechar su entorno en el presente sin tener que poner en un predicamento la existencia de las generaciones por venir.

Bibliografía

1. Anaya, Martha. *1988: El año que callo el sistema*. Randon House Mondadori, 2008.
2. Arellano Gómez, Víctor. "Geotermia", *Boletín IIE* septiembre-octubre Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México, 1999.
3. Arellano, Iglesias y García. "La energía geotérmica: una opción tecnológica y económicamente madura", *Boletín IIE* julio-septiembre. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México, 2008.
4. Azuela, Antonio. *Desarrollo sustentable: hacia una política ambiental*. UNAM, Coordinación de Humanidades, 1993.
5. Beaubouef, Bruce Andre. *The strategic petroleum reserve: US energy security and oil politics, 1975-2005*. College Station: Texas A & M University Press, 2007.
6. Brock, William A. *The kindergarten rule of sustainable growth*. Cambridge, Mass. Natural Bureau of Economic Research, 2003.
7. Byron, Michael P. *Infinity's rainbow: the politics of energy, climate, and globalization*. New York: Algora Pub., 2006.
8. CEPAL. "Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: guía para la formulación de políticas energéticas". *Cuadernos de la CEPAL* 89, 2003.
9. CFE, Comisión Federal de Electricidad. www.cfe.gob.mx.
10. EIA, Energy Information Administration, www.eia.gov
11. Energy Information Administration (EIA). *International Energy Outlook 2008*. Official Energy Statistics from the US Government. Department of Energy, 2008.
12. Estrategia Nacional de Energía 2010. Secretaría de Energía, México.
13. García Páez, Benjamín. "La economía política de la liberalización del sector eléctrico en México e Inglaterra" Revista *El Cotidiano*, enero-febrero 2003, vol. 19, número 117, UAM-Azcapotzalco.
14. General Wind Energy Council (GWEC) – Greenpeace. *Wind Force 12. A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020*. June 2005.

15. General Wind Energy Council (GWEC) - Greenpace. *Global Wind Energy Outlook 2008*. October 2008.
16. Green, Bruce D. *Geothermal, the energy under our feet*. National Renewable Energy Laboratory, 2006.
17. Herberg, Richard. *Powerdown: options and actions for a post-carbon world*. New Society Publishers, 2004.
18. Huerta González, Arturo. *Por qué no crece la economía mexicana*. Diana, 2006.
19. IIE, Instituto de Investigaciones Eléctricas, www.iie.org.mx.
20. IMP, Instituto Mexicano del Petróleo, www.imp.mx.
21. International Energy Agency (IEA, a). *Key World Energy Statistics 2010*.
22. International Energy Agency (IEA, b). *World Energy Outlook 2008*.
23. Klein, Naomi. *The Shock Doctrine. The rise of disaster capitalism*. Metropolitan Books, New York, 2007.
24. Lopez, Ramon. *Economic development and environmental sustainability: new policy options*. Oxford University Press, 2006.
25. Molina, Mario J. y Molina, Luisa T. (coordinadores). *La Calidad del Aire en la Mega Ciudad de México*. Fondo de Cultura Económica, 2005.
26. Oreskes, Naomi, *Plate Tectonics: an insider's history of the modern theory of the Earth*. Boulder, Colorado. Westview Press, 2001.
27. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). *Factbook 2008*.
28. Owen, Anthony D y Hanley, Nick. *The Economics of climate change. Routledge explorations in environmental economics*. University of Glasgow, 2004.
29. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024*. Secretaría de Energía. México, 2009.
30. Quintero Soto, Maria Luisa. *Recursos naturales y desarrollo sustentable: reflexiones en torno a su problemática*. H. Cámara de Diputados, LIX Legislatura. UNAM, ENEP-Aragón. Porrúa, 2004.
31. Randall, Laura. *Changing structure of Mexico: political, social, and economic prospects*. Columbia University Seminar Series. Armonk, New York: M.E. Sharpe, 2006.
32. Schratzenholzer, Leo. *Achieving a sustainable global energy system: identifying possibilities using long-term energy scenarios*. ESRI studies series on the environment. Cheltenham, UK 2004.
33. Taster, Drake, Driscoll, Golay y Peters. *Sustainable Energy*. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
34. Tester, Jefferson. *The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology, 2006.

35. Twidell, John y Tony Weir. *Renewable Energy Resources*. Taylor & Francis, Nueva York; segunda edición, 2006.
36. Ryan, Lisa. *Sustainable automobile transport: shaping climate change policy*. ESRI studies series on the environment. Cheltenham, UK 2007.
37. Urquidi, Victor L. *Desarrollo sustentable y cambio global*. Colegio de México, 2007.
38. Victor, David G. *The political economy of power sector reform: the experiences of five major developing countries*. Cambridge University Press, 2007.
39. Volk, Tyler. *CO₂ rising: the world's greatest environmental challenge*. MIT Press, 2008.
40. Yun-Shik, Chang. *Transformations in Twentieth Century Korea*. Routledge Studies in the Growth Economies of Asia. Nueva York, 2009.
41. Zillman, Donald N. *Beyond the carbon economy: energy law in transition*. Oxford University Press, 2008.

Apéndice Estadístico

Producto Interno Bruto, 2009.	[90]
Consumo Total de Energía, 2008.	[91]
Emisiones de Bióxido de Carbono, 2008.	[92]
Población Mundial, 2007.	[93]
Precios del Petróleo, 1970 – 2008.	[94]
México - Saldo Energético de Gas, 1990 – 2009.	[95]
Costo del Cambio Climático: 2000 – 2100.	[96]
Saldo Energético por País, 2008.	[97]

PRODUCTO INTERNO BRUTO, 2009
(miles de millones de US dólares)

1	Estados Unidos	14,119.0	21	Polonia	430.1
2	Japón	5,069.0	22	Suecia	406.1
3	China	4,985.5	23	Noruega	381.8
4	Alemania	3,330.0	24	Austria	381.1
5	Francia	2,649.4	25	Arabia Saudita	369.2
6	Reino Unido	2,174.5	26	Irán	331.0
7	Italia	2,112.8	27	Grecia	329.9
8	Brasil	1,573.4	28	Venezuela	326.1
9	España	1,460.3	29	Dinamarca	309.6
10	Canadá	1,336.1	30	Argentina	307.2
11	India	1,310.2	31	Sudáfrica	285.4
12	Rusia	1,231.9	32	Tailandia	263.8
13	Australia	924.8	33	Finlandia	238.0
14	México	874.8	34	Colombia	234.0
15	Corea del Sur	832.5	35	Portugal	232.9
16	Holanda	792.1	36	Emiratos Arabes	230.3
17	Turkia	614.6	37	Irlanda	227.2
18	Indonesia	540.3	38	Hong Kong, China	215.4
19	Suiza	491.9	39	Israel	195.4
20	Bélgica	471.2	40	Malasia	193.1

Fuente: Banco Mundial.

World Development Indicator database, World Bank, Diciembre 15, 2010. www.worldbank.org

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA (miles de billones de Btu's)

Lugar	Economía	2007	2008	2008/Total = %
1	United States	101.68	99.53	20.21
2	China	78.00	85.06	17.27
3	Russia	29.97	30.43	6.18
4	Japan	22.93	22.30	4.53
5	India	18.85	19.95	4.05
6	Germany	14.19	14.36	2.91
7	Canada	14.07	14.03	2.85
8	France	11.19	11.29	2.29
9	Brazil	10.11	10.63	2.16
10	Korea, South	9.71	9.89	2.01
11	United Kingdom	9.44	9.35	1.90
12	Iran	7.90	8.12	1.65
13	Italy	7.95	7.90	1.60
14	Mexico	7.28	7.31	1.48
15	Saudi Arabia	6.26	6.73	1.37
16	Spain	6.72	6.51	1.32
17	Ukraine	6.34	6.30	1.28
18	Indonesia	5.64	5.82	1.18
19	Australia	5.57	5.76	1.17
20	South Africa	5.52	5.71	1.16
21	Taiwan	4.61	4.56	0.93
22	Netherlands	4.38	4.33	0.88
23	Turkey	4.40	4.31	0.87
24	Thailand	3.86	3.96	0.80
25	Poland	3.86	3.89	0.79
26	Argentina	3.26	3.29	0.67
27	United Arab Emirates	2.82	3.26	0.66
28	Venezuela	3.07	3.19	0.65
29	Egypt	2.74	3.17	0.64
30	Belgium	2.75	2.91	0.59
31	Pakistan	2.50	2.48	0.50
32	Malaysia	2.33	2.45	0.50
33	Singapore	2.22	2.38	0.48
34	Uzbekistan	2.23	2.35	0.48
35	Sweden	2.24	2.22	0.45
36	Kazakhstan	2.32	2.17	0.44
37	Norway	1.94	1.94	0.39
38	Algeria	1.62	1.71	0.35
39	Romania	1.71	1.68	0.34
40	Czech Republic	1.63	1.62	0.33
	Total Mundial	482.00	492.59	90.30

Fuente: Administración de Información de Energía.
 Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
 Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov.

EMISIONES DE BIOXIDO DE CARBONO por consumo de energía.
(millones de toneladas métricas)

<i>Lugar</i>	<i>Economía</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>
1	China	5,558	5,862	6,247	6,534
2	United States	5,988	5,908	6,003	5,833
3	Russia	1,636	1,680	1,649	1,729
4	India	1,189	1,289	1,386	1,495
5	Japan	1,246	1,244	1,263	1,214
6	Germany	851	854	835	829
7	Canada	625	600	589	574
8	United Kingdom	585	587	564	572
9	Korea, South	496	486	516	542
10	Iran	446	476	491	511
11	Saudi Arabia	406	406	434	466
12	Italy	473	468	461	455
13	South Africa	436	448	464	451
14	Mexico	414	432	454	445
15	Australia	411	415	422	437
16	Indonesia	332	362	402	434
17	Brazil	370	384	397	428
18	France	414	417	402	415
19	Spain	384	377	383	359
20	Ukraine	355	335	359	350
21	Taiwan	290	299	308	305
22	Poland	290	301	298	299
23	Turkey	232	252	281	272
24	Netherlands	272	276	281	264
25	Thailand	242	238	248	254
26	Kazakhstan	168	183	179	199
27	United Arab Emirates	140	155	171	199
28	Venezuela	150	150	172	184
29	Argentina	152	157	167	172
30	Egypt	161	153	160	165
	WORLD	28,471	29,041	29,873	30,377

Fuente: Administración de Información de Energía.
Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov

POBLACION MUNDIAL (millones de personas)

<i>Lugar</i>	<i>Economía</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2007%</i>
1	China	1,306.3	1,314.0	1,321.9	20.0
2	India	1,091.0	1,107.6	1,124.1	17.0
3	United States	295.6	298.4	301.3	4.6
4	Indonesia	228.9	231.8	234.7	3.5
5	Brazil	189.0	191.5	193.9	2.9
6	Pakistan	163.4	166.2	169.1	2.6
7	Bangladesh	148.0	150.0	152.0	2.3
8	Nigeria	137.5	140.4	143.3	2.2
9	Russia	142.8	142.1	141.4	2.1
10	Japan	127.5	127.5	127.4	1.9
11	Mexico	106.2	107.4	108.7	1.6
12	Philippines	90.4	92.3	94.2	1.4
13	Vietnam	84.4	85.5	86.5	1.3
14	Germany	82.4	82.4	82.4	1.2
15	Ethiopia	75.0	77.4	79.9	1.2
16	Egypt	72.5	74.1	75.7	1.1
17	Turkey	72.7	73.7	74.8	1.1
18	Iran	64.7	65.0	65.4	1.0
19	Thailand	64.3	64.7	65.1	1.0
20	Congo (Kinshasa)	60.5	62.4	64.4	1.0
21	France	62.9	63.3	63.7	1.0
22	United Kingdom	60.4	60.6	60.8	0.9
23	Italy	58.1	58.2	58.2	0.9
24	South Africa	47.5	47.9	48.4	0.7
25	Korea, South	48.0	48.1	48.3	0.7
26	Burma (Myanmar)	46.6	47.0	47.4	0.7
27	Ukraine	47.0	46.6	46.3	0.7
28	Colombia	41.5	42.0	42.6	0.6
29	Spain	40.3	40.4	40.4	0.6
30	Argentina	39.2	39.6	40.0	0.6
Total Mundial		6,461.6	6,537.4	6,614.1	100.0

Fuente: Administración de Información de Energía.
 Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
 Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov

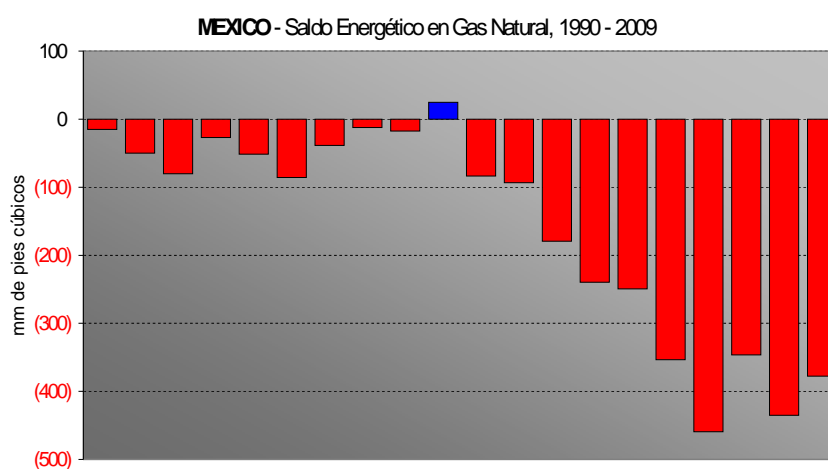
PRECIOS DEL PETROLEO, 1970 – 2008.
(valor nominal US dólares a cierre de año)

Año	Arabia Saudita <i>Ligth - 34° API</i>	Irán <i>Ligth - 34° API</i>	<i>variación</i> %	Libia <i>Ligth - 37° API</i>
1970	1.35	1.36		2.09
1971	1.75	1.76	29.4	2.80
1972	1.90	1.91	8.5	2.80
1973	2.10	2.11	10.5	3.10
1974	9.60	10.63	403.8	14.30
1975	10.45	10.67	0.4	11.98
1976	11.51	11.62	8.9	12.21
1977	12.09	12.81	10.2	13.74
1978	12.70	12.81	0.0	13.80
1979	13.34	13.45	5.0	14.52
1980	26.00	30.37	125.8	34.50
1981	32.00	37.00	21.8	40.78
1982	34.00	34.20	(7.6)	36.50
1983	34.00	31.20	(8.8)	35.10
1984	29.00	28.00	(10.3)	30.15
1985	29.00	28.00	0.0	30.15
1986	28.00	28.05	0.2	30.15
1987	16.15	16.14	(42.5)	16.95
1988	17.52	15.55	(3.7)	18.52
1989	13.15	12.75	(18.0)	15.40
1990	18.40	18.20	42.7	20.40
1991	24.00	23.65	29.9	26.90
1992	15.90	15.50	(34.5)	17.20
1993	16.80	16.70	7.7	17.55
1994	12.40	12.40	(25.7)	12.55
1995	16.63	16.18	30.5	16.05
1996	18.20	17.73	9.6	19.20
1997	22.98	22.63	27.6	24.10
1998	15.50	14.93	(34.0)	16.72
1999	10.03	9.83	(34.2)	10.65
2000	24.78	24.63	150.6	25.85
2001	20.30	20.20	(18.0)	22.40
2002	17.68	18.90	(6.4)	19.63
2003	27.39	27.85	47.4	30.40
2004	27.08	28.67	2.9	29.47
2005	31.86	33.84	18.0	38.00
2006	50.86	52.56	55.3	55.89
2007	55.94	56.28	7.1	59.22
2008	93.02	94.96	68.7	96.79

Fuente: Administración de Información de Energía.
Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov.

MEXICO – BALANCE ENERGETICO DE GAS NATURAL. (miles de millones de pies cúbicos)

Año	Producción	Consumo	Exportaciones Netas
1990	903.0	918.0	(15)
1991	899.0	949.0	(50)
1992	878.6	958.8	(80)
1993	950.0	977.0	(27)
1994	974.9	1026.2	(51)
1995	956.8	1042.6	(86)
1996	1064.0	1102.7	(39)
1997	1166.0	1178.2	(12)
1998	1266.1	1283.7	(18)
1999	1286.9	1262.2	25
2000	1314.5	1398.2	(84)
2001	1302.0	1395.3	(93)
2002	1333.6	1513.0	(179)
2003	1400.1	1639.7	(240)
2004	1463.7	1713.1	(249)
2005	1521.8	1875.3	(354)
2006	1740.6	2199.8	(459)
2007	1678.5	2024.9	(346)
2008	1694.1	2129.3	(435)
2009	1773.9	2151.4	(377)



Fuente: Administración de Información de Energía.
Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov

COSTO DEL CAMBIO CLIMATICO.

Net present value of climate change damages: 2000 – 2100

<i>Discount rate</i>	<i>0%</i>	<i>1%</i>	<i>3%</i>	<i>5%</i>	<i>10%</i>
<i>Percentage by sector</i>					
Sea level rise	57.8	61.1	68.6	75.1	82.1
Agriculture	2.7	2.4	1.5	0.7	-0.6
Extreme weather	33.5	30.1	22.7	16.3	9.5
Species loss	0.9	0.8	0.6	0.4	0.2
Health	5.2	5.6	6.7	7.6	8.7
<i>Percentage by region</i>					
OECD - America	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
OECD - Europe	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
OECD - Pacific	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
EE and FSU	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Middle East	6.9	6.9	6.6	6.2	5.5
C. and S. America	12.3	12.7	13.6	14.5	15.8
Developing Asia	48.4	48.1	47.9	48.5	50.6
Africa	31.7	31.7	31.3	30.2	57.5
Total in \$bn. 1990 prices	519,500	248,800	74,400	31,800	10,100

Fuente: "Developing countries and climate change" por Markandya y Halsnaes.
En *The Economics of Climate Change*, editado por Owens y Hanley. p 243.

SALDO ENERGETICO POR PAIS, 2008

(miles de billones de Btu's)

		<i>Producción</i>	<i>Consumo</i>	<i>Saldo</i>	<i>Grado de</i>
		<i>total Energética</i>	<i>total Energético</i>	<i>Energético</i>	<i>Dependencia</i>
1	Estados Unidos	73.42	99.53	(26.1)	(26)
2	Japón	3.76	22.30	(18.5)	(83)
3	Alemania	4.99	14.36	(9.4)	(65)
4	Corea del Sur	1.54	9.89	(8.4)	(84)
5	Italia	1.21	7.90	(6.7)	(85)
6	India	13.66	19.95	(6.3)	(32)
7	Francia	5.13	11.29	(6.2)	(55)
8	China	79.11	85.06	(6.0)	(7)
9	Austria	0.54	5.76	(5.2)	(91)
10	España	1.37	6.51	(5.1)	(79)
11	Turkia	1.21	4.31	(3.1)	(72)
12	Bélgica	0.50	2.91	(2.4)	(83)
13	Reino Unido	7.02	9.35	(2.3)	(25)
14	Brasil	8.55	10.63	(2.1)	(20)
15	Tailandia	1.99	3.96	(2.0)	(50)
16	Holanda	2.88	4.33	(1.4)	(33)
17	Polonia	2.66	3.89	(1.2)	(32)
18	Grecia	0.39	1.47	(1.1)	(74)
19	Hong Kong	0.00	1.08	(1.1)	(100)
20	Portugal	0.15	1.06	(0.9)	(86)
21	Suecia	1.41	2.22	(0.8)	(36)
22	Finlandia	0.49	1.29	(0.8)	(62)
23	Suiza	0.65	1.32	(0.7)	(51)
24	Irlanda	0.05	0.69	(0.6)	(93)
25	Rep. Checa	1.06	1.62	(0.6)	(34)
26	Rumania	1.19	1.68	(0.5)	(29)
27	Dinamarca	1.10	0.84	0.3	31
28	Argentina	3.59	3.29	0.3	9
29	Sudáfrica	6.16	5.71	0.4	8
30	México	9.18	7.31	1.9	26
31	Colombia	4.02	1.37	2.6	193
32	Venezuela	7.69	3.19	4.5	141
33	Nigeria	5.93	1.09	4.8	445
34	Canadá	19.11	14.03	5.1	36
35	Irán	13.36	8.12	5.2	64
36	Indonesia	11.99	5.82	6.2	106
37	Australia	11.99	5.76	6.2	108
38	Noruega	10.13	1.94	8.2	421
39	Arabia Saudita	25.25	6.73	18.5	275
40	Rusia	54.07	30.43	23.6	78

Fuente: Elaboración propia con información de la Administración de Información de Energía.
Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the US Government.
Department of Energy, USA. www.aie.doe.gov.

Agradecimientos

Agradezco los comentarios del Dr. Benjamín García Páez -profesor del postgrado de la Facultad de Economía- y del Maestro Victor Arellano Gómez –responsable de la Gerencia de Geotermia del Instituto de Investigaciones Eléctricas- que amablemente contribuyeron al enriquecimiento de la redacción final del presente trabajo. Así como también al trabajo, “chispa” y elocuencia del Dr. Porfirio Muñoz Ledo que –pese a no conocerlo personalmente- me motivó en todo momento.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de manera especial:

A mi madre María Gómez Pérez, por su infinito amor y comprensión hacia mi persona;

A mi padre Alfonso Morales Sánchez, por mostrarme el camino correcto en la vida;

A mis hermanos: Gerardo, Lupe, Marta y Rosa, que sin su valiosa ayuda no hubiera sido quien hoy soy; y

A mis amigos de toda la vida: José Antonio y Juan Carlos, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Gracias mil a todos ellos.

Alfredo Morales.

Abril 13 del 2011.