

El Petróleo en oro y negro

Prefacio:	Juan Manuel Torres Moreno
Prologo:	José Luis Fernández Zayas
Epílogo:	Atanasio Campos Miramontes
Colaboradores:	Armilde Rivera Huizar José Ignacio Dávila Rangel Fernando Mireles García Leopoldo L. Quirino Torres
Revisión y Corrección:	Alejandro García Ortega

A: Josefina Hernández Faire

(José)

Índice

Prefacio	iii
Prólogo	iv
I. El Petróleo: del neolítico a los Trust	
I.1 Antecedentes	7
I.2 La fiebre del oro negro	8
I.3 Los Zares del petróleo	9
<i>Las majors</i>	12
I.4 Los inicios del petróleo en México	15
<i>La producción del petróleo en México</i>	16
I.5 El embargo petrolero de 1973	19
<i>Análisis contextual del embargo petrolero</i>	19
Bibliografía de referencia	22
II. El interés mundial por el petróleo	
II.1 Papel actual del petróleo	23
II.2 Eventos mundiales y precios del petróleo	26
II.3 El papel del Medio Oriente	32
II.4 Principales movimientos en el mercado del petróleo	35
II.5 La estrategia de los Estados Unidos	37
II.6 Las nuevas <i>majors</i> y su ubicación a la escala mundial	39
II.7 Ubicación de México en el mercado petrolero	40
II.8 Relación entre la oferta mundial y el precio del petróleo	44
Bibliografía de Referencia	46
III. Desafíos en materia de energía	
III.1 Lecciones del petróleo en el 2004 y 2005	49
III.2 Factores de inducción de la crisis del petróleo del 2004 y 2005	51
<i>Dependencia estacionaria de la demanda</i>	51
<i>La capacidad mundial de producción</i>	51
<i>Financiamiento en exploración y en capacidad de producción</i>	52
<i>Perturbaciones políticas</i>	54
III.3 ¿Son inagotables las reservas de petróleo?	55
<i>El modelo de Hubbert</i>	59
III.4 Reservas mundiales de energía fósil	60
<i>Relación Reserva Producción (R/P)</i>	61
III.5 Alternativas energéticas	61
<i>El gas natural</i>	62
<i>El carbón</i>	63
<i>La energía nuclear</i>	64

<i>La energía solar</i>	66
<i>La energía eólica</i>	68
<i>La Biomasa</i>	69
III.6 Problema energético de México	71
Bibliografía de Referencia	72
IV. Energía y Desarrollo en el Mundo	
IV.1 La energía en la civilización	75
IV.2 El desarrollo en el Mundo en cifras	76
<i>Los países más ricos del mundo</i>	77
<i>PNB per capita</i>	79
IV.3 Consumo mundial de energía	81
<i>Los mayores consumidores de energía en el mundo</i>	82
<i>Consumo mundial de energía fósil</i>	84
IV.4 Consumo de energía <i>per capita</i>	86
IV.5 Eficiencia en el consumo de energía	88
<i>Intensidad energética</i>	89
IV.6 Paradojas en el consumo de energía	93
Bibliografía de Referencia	97
V. Naturaleza de la energía	
V.1 El concepto de energía	99
V.2 Clasificación de la energía	99
V.3 Estado base de la energía	101
V.4 Energía útil	103
<i>Combustibles</i>	103
<i>Fuerzas de la naturaleza</i>	103
V.5 Conversión de las diversas formas de la energía	104
<i>Energía mecánica y trabajo</i>	106
<i>Energía Eléctrica</i>	106
<i>Radiación electromagnética</i>	107
<i>Energía nuclear</i>	108
II.6 La ciencia de la energía	109
Bibliografía de Referencia	111
Epilogo	113
Anexo	
Abreviaturas	118
Equivalencias	119

Prefacio

El petróleo en Oro y Negro no es un libro de literatura. No intenta divertir o sumergir al lector en un ambiente de personajes ficticios: aquí los personajes somos todos nosotros. Es un libro lleno de estadísticas y revelaciones interesantes acerca de un tema complejo y apasionante: la energía y el petróleo. Es curioso, sin embargo como toda esa masa de información y estadística no aburren, sino que puedan llevar al lector a través de un laberinto de ideas fascinante, a través de una lectura amena que desemboca en un desenlace casi-literario por lo menos incierto.

Probablemente el capítulo mas inquietante de todos sea el capítulo III. ¿Son inagotables las reservas de petróleo? ---Se pregunta el autor, y apoyado en informaciones bien documentadas, nos revela una respuesta que se antoja previsible pero no por ello menos preocupante: las reservas de petróleo se agotan a un ritmo dictado por el voraz consumo energético de la cultura de hoy. Factores de fragilidad del mercado se conjugan en este escenario y saltan a la vista interrogantes sobre la solvencia de las fuentes alternativas de energía.

En cada capítulo se presentan aspectos relacionados con México, país productor y consumidor de energía fósil, que permiten comprender su verdadero papel (no siempre protagónico) en este mundo de potencias mundiales en materia económica y energética.

Este trabajo presenta un panorama negro, como la materia de estudio, que debería llamar la atención de responsables de gobiernos y sobre todo del público en general, porque a fin de cuentas, todos resultamos afectados por decisiones que no conciernen mas que a unos cuantos.

Si el día de pasado mañana su automóvil no arranca por falta de gasolina, no se preocupe demasiado: aun queda un mañana donde aun podríamos contribuir, sino directamente, al menos a tomar conciencia del enorme problema que se nos viene encima.

Desde mi punto de vista, ese es probablemente uno de los grandes aciertos de este libro: su lectura logra despertar la curiosidad y la conciencia en el lector sobre el delicado tema de la energía de un futuro que ya no esta lejos.

Juan Manuel Torres Moreno
Universidad de Aviñón, Francia. Mayo de 2005

Prólogo

Por: José Luis Fernández Zayas

La incorporación de la energía en las actividades humanas tuvo un carácter espontáneo hasta el surgimiento de la industria petrolera, a mediados del siglo XIX. A partir de entonces su inserción fue determinada por las fuerzas de un mercado que en muy poco tiempo alcanzó proporciones monstruosas.

La creciente demanda de petróleo con fines medicinales, de mediados del siglo XIX, inspiró la búsqueda de petróleo que encabezó Edwin L. Drake, desatando *la fiebre del oro negro*. Prácticamente de inmediato se agregó la demanda de keroseno para los quinqués, las estufas de petróleo y la calefacción. En poco menos de medio siglo, el petróleo, que comenzó como un sueño para osados aventureros, vino a destronar al carbón —motor de la revolución industrial—, imponiendo mayor brío al desarrollo industrial y al desarrollo mismo de la industria energética.

El automóvil se inventó en 1896 y una década más tarde, tan sólo en Estados Unidos había ya más de cien mil unidades. La demanda de gasolina creció de forma explosiva.

Las locomotoras en Estados Unidos y la flota naval de Inglaterra, en 1910 cambiaron el carbón por petróleo y comenzó con ello el imperio del petróleo.

El estado líquido del petróleo ofrecía y ofrece ventajas técnicas por sobre todas las formas de energía, pues era y es más fácil de transportar y de almacenar. Adicionalmente el hecho de que el petróleo fluyera con naturalidad, sin necesidad de bombeo, a partir del yacimiento, evitaba los arduos y riesgosos trabajos de la minería del carbón. El reto se reducía a las posibilidades de éxito o de fracaso en la exploración y la perforación; en recompensa, existía la esperanza de poder participar de las grandes fortunas que se amasaban en el mercado más explosivo de todos los tiempos, el mercado del petróleo.

Pero los sueños de los aventureros del petróleo quedaron frustrados rápidamente. Los peces grandes devoraron a los pequeños y en muy poco tiempo las actividades petroleras quedaron concentradas en los grandes zares del petróleo; Rockefeller en Estados Unidos y Deterding en Europa, que crearon monopolios sumamente poderosos, con radios de acción mundial.

El petróleo se había convertido en factor de desarrollo de los países industriales, lo que le dio el carácter de imprescindible. Los Zares del petróleo visualizaron en él una fuente inagotable de riqueza; en consecuencia, no podían permitir que los beneficios se les fueran de las manos.

Se desarrolló todo tipo de estrategias para eliminar toda competencia. Rockefeller fundó su imperio en el *dumping* —vender sus productos petroleros a precios muy bajos, durante un tiempo suficientemente grande para arruinar a los concurrentes—. Evidentemente esta estrategia sólo podía ser practicada por las compañías más poderosas.

Para acceder a los campos petroleros de cualquier país, las compañías petroleras necesitaban mantener buenas relaciones con los gobiernos. En muchos países los permisos para explorar fueron sin condiciones; pero, por lo común, una vez descubierto el petróleo, las compañías les otorgaban regalías a los gobernantes —*the royalties*— que en principio no eran muy cuantiosas. Estas cobraron importancia en la medida en que las compañías concurrentes estaban dispuestas a pagar mucho más que las ya instaladas, con el fin de conseguir derechos para la explotación y, de ser posible, desplazar a sus adversarios. Con la aparición de la competencia aparecieron los conflictos de intereses, repercutiendo en la vida política del país; el caso de México puede ser considerado uno de los más elocuentes (§ I.4).

Las compañías petroleras no escatimaban la injerencia política para poner gobernantes afines a sus intereses, o para derrocar gobernantes incómodos a sus intereses. La inestabilidad de los gobiernos era campo fértil para obtener concesiones muy benéficas. De ahí que el alentar revueltas y subversiones e incluso financiar en parte guerras civiles eran estrategias que aseguraban beneficios permanentes.

Con el nacimiento de la industria del petróleo surge la atmósfera en la que se rige el petróleo en la actualidad. Su papel no se reducía, ni se reduce, al de un simple producto del mercado, iba y va, más allá de su papel energético: es instrumento de poder.

La guerra entre los zares del petróleo llegó a su fin en 1928, con el acuerdo de Achnacarry promovido por Deterding. Las compañías petroleras dominantes concertaron una nueva forma de organización y fundaron un cartel mundial que dominó el mercado durante 42 años —*las majors* o *siete hermanas*—.

Desde el origen del mercado petrolero hasta los años 70 el mundo no conocía escasez alguna; la oferta de petróleo sobrepasaba ampliamente a la demanda. Esta era parte de la estrategia para evitar la aparición de nuevos concurrentes y asegurar el control del mercado. La abundancia de petróleo provocaba que los precios se mantuvieran suficientemente bajos como para hacer incosteable el ingreso de nuevos concurrentes. *Las majors* fundaban sus ganancias en los grandes volúmenes de ventas, en su capacidad de producción y en el control del mercado.

Las restricciones en el uso del petróleo dependían de la capacidad de uso y de la capacidad de compra. El mundo se fue estratificando, los países ricos desplegaron la industrialización y se diferenciaron rápidamente del resto del mundo; los países pobres no tenían una industria sedienta de energía, ni disponían de divisas para la compra las innovaciones industriales que demandaran petróleo o sus productos.

Las trabas para nuevos concurrentes fueron infalibles por décadas, pero las nacionalizaciones petroleras y las renegociaciones de los contratos, dieron entrada, (ahora ya no a nuevas compañías, sino) a Estados productores de petróleo. En 1960 varios de estos Estados fundaron la OPEP, con lo que la oferta de petróleo se ampliaba aún más.

Esto afectó los intereses de *Las majors*, pero no en forma catastrófica, pues el ingreso de la OPEP fue en las áreas menos rentables de la industria petrolera: la extracción. *Las majors* siguieron teniendo el control del mercado, el transporte, la refinación y comercialización de los productos derivados y justamente en esto fundaban sus ganancias.

En 1973 un evento, conocido como *el embargo petrolero*, vino a sacudir al mundo dejando grandes lecciones. Por primera vez en la época del mercado petrolero, el mundo conoció la escasez de petróleo y las fluctuaciones en el precio del petróleo.

Sobre el embargo existe más de una explicación. Se le tipificó como un evento casual, se responsabilizó a la OPEP, etc. Sin embargo, las verdaderas causas permanecieron ocultas a la opinión pública por cuestiones de intereses geopolíticos (§ I.5). En realidad *las majors* no dejaron de ser *las majors*; la banca anglosajona se fortaleció, el dólar se afianzó como la divisa internacional, el petróleo se consolidó como *affaire* de Estado y el Medio Oriente apareció como el epicentro de una zona sísmica cuyos acontecimientos comenzaron a cimbrar al mundo en forma estruendosa.

Tras el embargo los precios se multiplicaron por cinco. Con la guerra de Irán en 1979 el barril pasó de 13 a 30 dólares y con la guerra entre Irán e Irak en 1980 alcanzó los 40 dólares —eventos tipificados como *el segundo choque petrolero*— (§ II.2).

El petróleo y la guerra comenzaron a entenderse muy bien; después de todo, el petróleo servía para hacer la guerra.

Los precios altos indujeron la contracción en el consumo mundial de petróleo durante poco más de una década. *El contrachoque petrolero* de 1984 trajo precios moderados y la demanda mundial retomó su ruta ascendente.

Las grandes potencias han fundado su riqueza en el uso extensivo de la energía y no están dispuestas a renunciar al precepto económico de obtener año con año un crecimiento económico tangible. Mientras esto suceda el consumo de energía seguirá en aumento.

El petróleo ha experimentado perturbaciones ligeras en el consumo, fluctuaciones enormes en los precios y una persistente resistencia a precios. Pero esto no ha perturbado su inercia. Los países industrializados parecen estar dispuestos a pagar lo que sea necesario, justamente porque no está en la mente de nadie cambiar el *status* de país. En Europa las gasolinas tienen del orden del 80% impuesto por encima de su precio comercial y el consumo no disminuye.

La jerarquía del mundo en materia económica está asociada al uso de energía y notablemente del petróleo (§ IV). Esa jerarquía es muy rígida, los primeros lugares son exclusivos para las grandes potencias y escalar un lugar no es de

ninguna manera mecánico. Las naciones en mayoría absoluta son agentes pasivos, abandonados a su suerte, en el escenario económico mundial, que de ninguna manera se conduce de manera espontánea o casual.

La economía mundial está regida por reglas que muy pocos dominan. Grandes hilos determinan las relaciones internacionales y la jerarquía del mundo y entre esos grandes hilos, el petróleo es uno de los mas grandes instrumentos de anclaje de la economía mundial.

El mundo depende fuertemente del petróleo, las grandes potencias en mayor medida. Paradójicamente los países petroleros no son, ni nunca han sido, los primeros beneficiarios del petróleo.

El año 2004 conoció una nueva crisis, el precio del barril alcanzó los 55 dólares. Se puso en evidencia que la demanda alcanzó la capacidad mundial para producir petróleo (§ III.2).

La explotación de las reservas de un gran número de países productores deviene tecnológicamente más difícil y requieren grandes inversiones para mantener y/o ampliar la capacidad de producción.

La capacidad financiera del grueso de los países petroleros es limitada, después de años de fluctuaciones a la baja e incertidumbres en el precio del petróleo arrastran un déficit presupuestal y en algunos casos grandes deudas con la banca internacional.

Mientras tanto grandes grupos financieros están al acecho, reclamando a través de los organismos internacionales la apertura a las inversiones extranjeras en los países donde por ley la explotación petrolera es facultad exclusiva del Estado. Si bien es cierto que no se puede asegurar que las reservas probadas están llegando a su fin, el hecho de que su explotación deviene día con día más difícil, significa que el petróleo no puede ser eterno y en consecuencia los países con recursos petroleros no tienen asegurado el futuro.

La inercia en el consumo es preponderante sobre toda política de ahorro y racionalidad del uso de la energía. En contraparte el agotamiento de las fuentes no renovables de energía no parece preocupar a los gobiernos de las superpotencias del mundo, ni a los países proveedores de energía, ni a los propios consumidores. La liberación a la atmósfera de volúmenes cada vez más elevados de productos de combustión está asociada al crecimiento en el consumo de la energía. Los países más industrializados, en tanto que son los grandes consumidores de combustibles fósiles, son mayormente responsables tanto del agotamiento de las fuentes de energía como de la liberación de productos de combustión.

El agotamiento de los combustibles fósiles y la contaminación de la atmósfera, constituyen las grandes facturas —endosadas al mundo y pocas veces visibles— en la que las grandes potencias fundan su predominio en la economía mundial. Pero no son los únicos, los países subdesarrollados también son causantes mayores en la medida en que, sin posibilidades de renovar su planta industrial y su transporte, utilizan tecnología al borde de la obsolescencia y altamente contaminante.

La situación parece incontenible. Evidentemente hay muchas cosas irreversibles. Todo parece indicar que la solución es revertir el crecimiento en el consumo mundial de energía. La tendencia creciente en el consumo mundial del petróleo ha sido imperturbable, frenarla nunca ha sido la meta de Estado alguno. A lo sumo se ha buscado ser menos dependiente; sin éxito, hay que remarcarlo. Y es utópico el formular revertir el consumo mundial de petróleo.

La entrada en vigor del protocolo de Kyoto el 16 de febrero del 2005 puede ser el comienzo de una nueva era en la que el mundo consuma menos energía. Pero ir más allá del plano declarativo no es tan sencillo. Disminuir la liberación de contaminación al ambiente requiere la instalación de sistemas de retención y filtrado más eficiente, cosa que aunque resulta costosa es factible de realizar; por supuesto, otra forma de reducir las emisiones es disminuir el consumo de combustibles fósiles. Esto puede darse de diferentes maneras, puede implicar el suspender la operación de plantas y vehículos altamente consumidores.

Para frenar el consumo hacen falta políticas económicas dispuestas a administrar las reservas energéticas de una manera conservadora, a utilizar la energía de una manera más eficiente, a evitar el consumo innecesario.

La tendencia mundial en materia de energía no ha sido espontánea. Son los países industrializados y las grandes potencias los mayores consumidores en el mundo y, en consecuencia, los que han endosado las mayores facturas al mundo en materia de contaminación y agotamiento de fuentes de energía fósiles. El consumo de energía es excesivo, podría haber una reducción sin detrimento de su calidad de vida.

Tienen la palabra, en primer instancia, los grandes consumidores mundiales; pero, los países con altos índices de contaminación tienen también mucho que hacer.

Si la tendencia en el consumo ha sido en buena medida inducida, revertirla debería ser una meta posible.

Empero, la conciencia social no es suficiente para inducir comportamientos racionales. A menudo es necesario actuar sobre los precios y antes sobre las leyes. Aunque a veces tampoco es suficiente, como se demuestra en Europa, donde el precio de las gasolinas es tres a cuatro veces superior al de Estados Unidos y aun así el consumo no disminuye. Entonces hay que reconocer el problema energético de dimensiones colosales.

Aun así hay que insistir en fortalecer una conciencia más responsable con el ambiente y los recursos naturales e instrumentar una política que garantice una economía energética. No es racional que el petróleo, cuya formación tardó cientos de millones de años, esté destinado a agotarse en tan sólo dos siglos.

I. El Petróleo: del neolítico a los Trust

I.1 Antecedentes

El petróleo, bajo la forma de bitumen —la forma artesanal más accesible del petróleo— hace su aparición en la historia desde el Neolítico, como una sustancia de utilidad excepcional para la humanidad.

Muchos pueblos reconocieron sus propiedades de sellado, de adhesividad, maleabilidad, como combustible y su capacidad para mezclarse con otras substancias.

Desde la antigüedad hasta mediados del siglo XIX se extraía en forma artesanal de las filtraciones de los mantos de petróleo, a flor de tierra, conocidos en español como chapopoterías. Al contacto con la atmósfera los componentes más volátiles del petróleo se evaporan mientras que los más pesados se oxidan liberando CO₂ y agua; la mezcla —altamente viscosa— es justamente el bitumen.

En Mesopotamia, cinco mil años antes de nuestra era, se inventó la escritura, se construyó la torre de Babel, se construyeron los jardines colgantes de Babilonia y en su construcción, de acuerdo a la Biblia, se utilizaba el bitumen para pegar los ladrillos, en la composición de los morteros para la propia fabricación de ladrillos y en la impermeabilización de las construcciones. Se usaba como hoy se usa el chapopote para pavimentar las vías más importantes, las que conducían a los templos y palacios. El bitumen sellaba las obras hidráulicas: canales, cisternas y presas. Aseguraba el sellado de las embarcaciones —koufas— que circulaban el Tigris y el Éufrates. Se utilizaba para pegar pedazos de cerámica. Calentado, luego solidificado, el bitumen permitía ser cortado, esculpido para la fabricación de objetos.

Los fenicios lo utilizaban para sellar los cascos de sus navíos, logrando así la supremacía naval por mucho tiempo. Los egipcios lo usaron para cubrir a sus muertos y en el sellado de los sarcófagos. En Oriente se le utilizaba como combustible.

Varios pasajes de la Biblia dan cuenta del papel del petróleo en la antigüedad:

El arca de Noé fue sellada con bitumen; la Torre de Babel fue construida con ladrillos contruidos mezclando arena con bitumen; Moisés fue abandonado en las aguas del río Nilo en una cesta de ratán trenzado, sellada con bitumen y brea.

Durante el siglo VII los bizantinos inventaron el fuego griego —la primera versión del NAPALM— mezclando nafta con azufre.

Paralelamente a los usos en las construcciones, en el sellado de los navíos y como combustible, a lo largo de la historia de la civilización y hasta épocas muy recientes, el bitumen fue también usado con fines terapéuticos, religiosos y mágicos.

Sus propiedades como medicamento fueron variadas: purgaba, aliviaba el escorbuto, la gota, las molestias en los dientes, combatía la sordera, servía para

limpiar heridas y se usaba en el tratamiento de reumatismo, lepra, leucemia y cataratas.

I.2 La fiebre del oro negro

Aunque la utilización de derivados del petróleo existe desde el Neolítico, el papel motriz de éste en la historia de la civilización es relativamente reciente; comenzó mucho después de la revolución industrial.

Por azares del destino el papel motriz de la revolución industrial lo ocupó el carbón y no el petróleo.

En América, a mediados del siglo XIX, se sabía que el petróleo podía usarse en alumbrado para sustituir velas y bujías, sin embargo su escasez hacía que tan sólo se usara como remedio universal. Su uso terapéutico era el origen de la riqueza de compañías como *Rock Oil*, *American Oil*, *Petroleum Oil* y *Seneca Oil Company*. En aquel tiempo sólo se disponía del petróleo que salía a flor de tierra. La demanda potencial inspiró a los llamados buscadores del oro negro a emprender la aventura en busca de petróleo.

Seneca Oil Company, compañía que producía el bálsamo de Kier, financió la aventura de Edwin L. Drake, que desató la epopeya moderna del petróleo.

Edwin L. Drake, quien se hacía llamar coronel y quien en realidad no era más que un maquinista de tren desempleado, desembarcó en Titusville en 1858 junto al río Oil Creek en Pennsylvania en busca de fortuna. Las posibilidades de fracaso eran mínimas, pues era ampliamente sabido que en Oil Creek "la tierra sudaba petróleo". Drake no hizo más que excavar en diferentes puntos escogidos al azar.

El 27 de agosto de 1859, a la profundidad de 23 metros, hizo brotar un flujo de 35 barriles por día¹.

En unas semanas la campaña publicitaria lanzada por *Seneca* desató lo que se ha llamado *la fiebre del oro negro*, en analogía a *la fiebre del oro* que 10 años antes se había desatado en California. Sólo que la carrera por el petróleo fue de mayores proporciones. Fortunas se hacían y se deshacían en cuestión de horas, se disparaban revólveres, se incendiaban pozos.

Cada propietario de pozo petrolero se hacía de sus pistoleros, sus espías y sus saboteadores; el espionaje se afianzó como una profesión prometedora. La especulación alcanzó niveles máximos, anticipando descubrimientos y el precio del petróleo conoció fluctuaciones considerables: 20 dólares el barril en 1959, 50 centavos en 1960, 8 dólares en 1964.

En suma, con los primeros pozos surgió la atmósfera en la que se desarrolló la historia moderna del petróleo.

¹ Cabe hacer mención que el pozo de Edwin L. Drake, no fue el primero en el mundo. El primer pozo petrolero se perforó 10 años antes en Bibi-Eibat, en Bakú, hoy Azerbaijan, en 1848. Sin embargo, en su inicio la atmósfera de la industria petrolera en Europa fue diferente a la de América.

A partir de 1860 el quinqué, o lámpara de petróleo, se perfeccionó y su uso se extendió al mundo.² Paralelamente surgieron las primeras estufas de petróleo y los primeros sistemas de calefacción en base a petróleo. Con ello la demanda creció en proporciones sorprendentes. Tan sólo en Oil Creek la producción pasó de 10 mil toneladas por año a 5 millones de toneladas.

I.3 Los Zares del petróleo

En 1862, aprovechando la desorganización que reinaba en Titusville, emergió John Davison Rockefeller, quien se interesó por el transporte, la refinación y la distribución de petróleo, dejando a los prospectores el riesgo de no encontrar petróleo y a los productores las fluctuaciones en los precios.

Rockefeller comprendió que el problema no radicaba en descubrir petróleo, sino en almacenarlo y conducirlo hasta los centros de destilado y refinación y en revender productos útiles. Hace instalar en Cleveland, a 300 km de los pozos, una refinería, ciertamente lejana de los pozos, pero bien situada en relación a los medios de transporte de la época.

En efecto, la idea de controlar el transporte en el sector de la energía no era nueva. En Europa, el uso del carbón había mostrado ya la relación esencial entre esta forma de energía y su transporte. La demanda de carbón era generalizada en Europa, de tal forma que, para satisfacerla, la oferta debía tener suficiencia. Era necesario asegurarse de que el carbón fuera transportado a todas las regiones y centros de consumo.

De hecho, la ruta del carbón y del petróleo luego se repitió con la electricidad: la oferta debió preceder a la demanda, como mecanismo de anclaje en el mercado de estas fuentes de energía.

En 1870 Jhon Davison Rockefeller creó la Standard Oil. En corto tiempo controlaba la mitad de las refinerías americanas y en 1890 el 90% de la refinación y transporte en todo Estados Unidos, el mercado más grande del mundo en ese entonces. Su objetivo era ofrecer productos de calidad constante en lugar de las múltiples variedades que se encontraban en el mercado —de ahí el nombre de Standard.

Su estrategia era simple: desanimar toda competencia mediante precios bajos. Por si esto no era suficiente, no escatimaba la persuasión y la amenaza para convencer a los concurrentes de retirarse del mercado y el sabotaje para provocarles la ruina. Los concurrentes más persistentes no tuvieron otro recurso que unirse a él.

El 2 de enero de 1882 la Standard se transformó en la Standard Oil Trust; esta nueva palabra, trust, más que inspirar confianza en el tipo de producción,

² La lámpara de petróleo “el Quinqué” fue inventada alrededor del año 1800 por el farmacéutico parisino Antoine Lavoisier (1745-1803).

expresaba la confianza de los socios de la Standard, en la dirección del (ya para entonces) Rey del Petróleo.

Ese año, 1882, Thomas Edison inventó el foco. Aparentemente se ponía en riesgo la carrera del mercado del petróleo, pero la dinámica del mercado permaneció inmutable a tal acontecimiento.

En 1886 se descubrieron grandes yacimientos en Estados Unidos. Con ello, los costos de producción bajaron apreciablemente, dejando grandes beneficios a los productores. Rockefeller decidió entonces convertirse también en productor.

Para 1890 había ya construido un verdadero imperio, extendiendo su radio de acción a China, África del Sur y Latinoamérica. La palabra Trust describe la nueva connotación de la Standard: un gran monopolio con un radio de acción internacional. En 1897 el Trust tomó el nombre de Standard Oil of New Jersey y se convirtió en la compañía más poderosa del mundo.

Europa se contagió de la fiebre del oro negro mucho tiempo antes. En 1873, los tres hermanos Nobel, fabricantes de dinamita, se hicieron del control del petróleo de la región de Bakú hoy Azerbaijón y con el petróleo del mar Negro inundaron Europa y Asia.

Los holandeses se trasladaron a Indonesia. Contratado en 1890 por August Kessler, director de la compañía Royal Dutch Petroleum, el holandés Hendrik August Wilhelm Deterding (1866–1939) desembarcó en las islas neerlandesas e instaló una pequeña fábrica en plena selva Sumatra y desarrolló el mercado hacia China. Su sociedad fue tan floreciente que Rockefeller al fallar en su intento por apropiársela, le declaró la guerra.

En 1892 Marcus Samuel, quien se dedicaba a la importación y exportación entre Inglaterra y el Medio Oriente, fue atraído por el mercado del petróleo descubierto en Borneo (Brunei) y fundó la compañía Shell comercializando el keroseno destinado a las lámparas de alumbrado.

En 1896, la invención del automóvil por Daimler y Benz abrió una nueva perspectiva a la industria del petróleo.

En 1901, en Spindletop Texas, se descubrieron grandes yacimientos de petróleo. Con ellos surgieron dos prosperas compañías: Gulf Oil Corporation y Texas Oil Company, contra las cuales Rockefeller nada pudo hacer.

Samuel intentó atacar a Rockefeller en su propio territorio, apoyado en los yacimientos de Texas, pero su intento fracasó porque catastróficamente disminuyó la producción de los pozos de Texas.

En su época y durante mucho tiempo, Rockefeller fue el hombre más rico del mundo. En 1904 los Estados Unidos estuvieron al borde de la bancarrota, el gobierno pidió ayuda al multimillonario, quien en menos de una hora hizo llegar 50 millones de dólares de aquella época hasta el Ministerio de Finanzas.

La expansión del automóvil demandó cantidades enormes de gasolina. Rockefeller era el único con grandes reservas en su capacidad de producción; centuplicó la producción, y el keroseno —principal producto de Shell y de la Royal— se convirtió en un producto secundario que podía lanzarse al mercado a precios irrisorios.

La guerra de los precios se extendió al mundo entero. La táctica despiadada de Rockefeller obligó a Deterding y a Samuel a unirse, dando origen a la Royal Dutch—Shell en 1907.

El 26 de mayo de 1908 el inglés William Knox d'Arcy, después de cuatro años de esfuerzos, al borde de la ruina, pero apoyado por el gobierno inglés, finalmente hizo brotar el petróleo en Irán. Antecedieron a este acontecimiento 35 años de exploraciones infructuosas. El Sha de Irán había concedido la exclusividad para explorar y explotar petróleo en el territorio iraní a William Knox d'Arcy. A partir del descubrimiento de los grandes yacimientos en Irán, se fundó la compañía Anglo-Persian Company en 1913, que se convirtió luego en Anglo-Iranian y luego, en 1954, en British Petroleum.

El auge del automóvil sorprendía al mundo entero. En 1909 el parque vehicular de los Estados Unidos era ya de 120,000. Fue entonces que la demanda de gasolina superó la demanda para alumbrado.

En 1910 se dio el boom de la producción petrolera en México, la cual se tratará más tarde (§ I.4).

En 1911 surge la ley antitrust americana, justamente para evitar la concentración de tanto poder, lo que lo obligó al desmembramiento de la Standard Oil en 34 sociedades.

El nombre de Rockefeller probablemente haya sido citado más veces que el del propio Hitler y en una forma tan peyorativa que él mismo notó que perjudicaba su imagen. En consecuencia contrató a Ivy Lee quien se encargó de promover su imagen; con ello surge el oficio de promotor de imagen.

En Europa, tras la fusión Dutch-Shell, Deterding adoptó la nacionalidad inglesa.

En 1910 Deterding anticipó la mutación de la flota naval del carbón al petróleo, —lo que hizo que el Almirantazgo Británico alcanzara la supremacía marítima—. Durante la Primera Guerra Mundial Deterding proveyó de combustible a la flota naval británica y aprovechando su relación con Winston Churchill consiguió el nombramiento de Primer Lord del Almirantazgo; ahora era Sir Henri Deterding y entonces la Dutch-Shell tuvo posibilidades de enfrentarse a la Standard.

En 1914-1918 Deterding participó en la victoria de los Aliados. De ahí la frase de Lord Curzon exvirrey de la India y miembro del gabinete inglés de la guerra 1914-1918: "Los aliados han ganado la guerra en una ola de petróleo", expresión que fue válida tanto para la Primera como para la Segunda Guerra Mundial.

El objetivo velado de Alemania había sido apoderarse del mercado europeo. Había puesto en marcha la construcción de un ferrocarril de Berlín a Constantinopla, otro de Bagdad al Golfo Pérsico, otro de Arabia al Mar Rojo. Deterding astutamente se asoció a aquel proyecto, afianzando sus relaciones con Alemania. Luego aprovechó la amistad entre Alemania y el sultán de Constantinopla para hacerse de las concesiones de los pozos de Mosul y Mesopotamia y desplazar a Rockefeller. En 1914 se firmó un tratado en el que se repartían los petróleos turcos: el 75% para Inglaterra, el 25 para Prusia. Asociado con la BP y la Compagnie Française du Pétrole se apoderó de las antiguas zonas de influencia Alemana, de Irak, entre otras.

Después de la Primera Guerra Mundial, las compañías inglesas, encabezadas por la Royal Dutch Shell paulatinamente cerraron el cerco, tenían concesiones y/o controlaban empresas en todos los territorios petroleros: Rusia, México, Rumania, Egipto, Venezuela, India, China, Siam y en Estados Unidos.

En 1920 los bolcheviques nacionalizaron el petróleo soviético. Deterding se enfureció y orquestó una campaña anticomunista a escala mundial, con la emisión de rublos falsos destinados a hundir las finanzas rusas, complot, conspiraciones y espionaje; Financió y armó la revuelta de Georgia y junto con Gustave Nobel organizó un ejército.

En 1922 Deterding logró el rompimiento de las relaciones entre Gran Bretaña y la entonces URSS.

Los soviéticos voltearon la mirada hacia los americanos. En 1927 Stalin le proporcionó a Rockefeller 4 millones de toneladas de petróleo a bajo precio. Con los ingresos el gobierno de la URSS se propuso pagar a Francia los empréstitos de tiempos del Zar, pero Deterding hizo que se pusiera como condición la desnacionalización del petróleo. La iniciativa fracasó y con ella se profundizó el aislamiento de la URSS.

De las 34 empresas derivadas del desmantelamiento de la Standard, en los años 20 habían prosperado Standard Oil of New Jersey, más tarde Exxo, Standard Oil of New York que se convirtió en Mobil, Standard Oil of California que sería luego Chevron, Standard Oil of Ohio que se convertiría en SOHIO, Standard Oil of Indiana que se transformó en Amoco Continental Oil, luego en Conoco, y finalmente Atlantic, que se convertiría en Arco.

En 1928 el maquiavélico Deterding revisó su postura y reconsideró la competencia con Rockefeller: "Siendo el mundo tan grande ¿no sería más sensato entenderse como personas?". Organiza una reunión en su castillo de Achnacarry en Escocia, a la que asisten los presidentes de Standard Oil of New Jersey y de la Anglo Persa. De ahí resulta el acuerdo de Achnacarry, que estableció que en lo sucesivo, el precio del petróleo se establecería de común acuerdo. El objetivo era eliminar todo nuevo concurrente y extender el mercado de productos petroleros practicando bajos precios, para lo cual, era absolutamente necesario controlar la producción; es decir, ajustar la producción a la demanda.

Durante varias décadas Deterding fue la figura más importante en el mundo de los negocios. En Europa era equivalente a Rockefeller. Su papel no terminó ahí: sus capitales llevaron al poder a Hitler, financió cuanta contrarrevolución estuvo a su alcance. Murió el 6 de febrero de 1939 en Saint Moritz, Suiza.

Las majors

De 1928 a 1970 el mercado mundial del petróleo estuvo dominado por siete grandes compañías, denominadas las seven sisters o las majors o las siete hermanas:

1. Standard Oil of New Jersey (Esso luego Exxo), la sociedad más fuerte, indisolublemente ligada a Rockefeller;
2. Royal Dutch Shell, ligada a Detering, que comenzó comercializando petróleo de Sumatra con capital inglés, francés, holandés y con Venezuela como su principal fuente de petróleo;
3. Gulf, de capital americano. Hacia 1934 obtuvo los mayores beneficios comercializando el petróleo de Kuwait: el 65% de sus operaciones dependían del petróleo de Arabia, el 13 % de Venezuela y el resto de Estados Unidos;
4. Texaco, el Feudo de los grandes barones del petróleo de Texas, vinculados con el expresidente Lyndon B. Johnson; obtenía sus beneficios del petróleo de Texas, Arabia, Canadá, Colombia, Venezuela, Trinidad, Sumatra e Irán;
5. Socony Mobil, derivada de la Standard, explotaba el petróleo de Irak, Canadá, Venezuela, Irán, Arabia, Indonesia, Colombia;
6. Standard Oil of California, derivada de la Standard controlaba el petróleo de California y Arabia Saudita;
7. British Petroleum Company, controlada por el gobierno inglés, explotaba el petróleo de Kuwait, Irán e Irak.

Cinco de estas compañías eran americanas, una anglo-holandesa y una inglesa. De mutuo acuerdo controlaban los pozos, las flotas petroleras, las refinerías y las cadenas de distribución.

En 1930 Las majors controlaban ya el 85% de la producción mundial de petróleo. El mecanismo de control era relativamente simple, ofrecer el petróleo a precios tan bajos, ante los cuales todo concurrente se desalentaría o se arruinaría. Y en efecto, durante ese periodo, el precio del petróleo permaneció sorprendentemente estable en el orden de 2 dólares el barril (2 \$/bl), lo que no quiere decir que el mercado del petróleo permaneciera en completa calma.

En forma independiente operaba, sin confrontarse con las majors, una compañía con cierta importancia, La Compagnie Française des Pétroles (CFP) que inició siendo socia de la Irak Petroleum Company, después de la Primera Guerra Mundial. Fue estatizada en 1924 por Raymond Poincaré al frente del gobierno francés durante la Primera Guerra Mundial, que hizo comprender a los gobiernos europeos la importancia del petróleo.

Desde su origen la industria petrolera era americana. En 1930, setenta años después de Oil Creek, Estados Unidos proveía dos terceras partes del consumo mundial.

Contrariamente en Europa escaseaba el petróleo. Para compensar esa debilidad Gran Bretaña y Alemania intensificaron la búsqueda de petróleo en Medio Oriente. Bajo esta inercia se descubrieron los más grandes yacimientos del mundo: Kirkuk en Irak, en 1927; Gasch Saran, en 1928 y Agha Jari, en 1936, en Irán; Burgan, en 1938, en Kuwait; Abqaiq, en 1940 y Ghawar, en 1948, en Arabia Saudita; descubrimientos que vinieron a trastornar la geografía petrolera.

En 1944 las majors discutían en directo con los Estados: obtenían concesiones, derechos casi soberanos sobre su explotación y dominaban el transporte, la refinación y la distribución de productos derivados del petróleo a nivel mundial.

En 1948 un evento por de más paradójico se produjo en la historia del petróleo. Estados Unidos se convirtió en importador. Con esto el Medio Oriente pasó a ocupar la primacía en la producción mundial de petróleo, lugar que no abandonará, seguramente, hasta el fin del petróleo.

Las majors sustentaban gran parte de sus altas ganancias en el hecho de que la propiedad del petróleo no estaba definida en la mayoría de las regiones petroleras del mundo. Con excepción de Estados Unidos, en el resto del mundo el propietario de un terreno era sólo dueño de su superficie, por tanto los yacimientos estaban sujetos a la decisión de los Estados.

Las grandes compañías petroleras buscaban concesiones con los gobiernos para explotar a voluntad el petróleo. En contraparte pagaban derechos sobre la concesión (The royalties) e impuestos sobre los beneficios económicos. En ciertos casos, en lugar de haber de por medio una concesión, había contratos en los que se compartía la producción entre la compañía petrolera y el Estado.

Ambas formas de explotación paulatinamente hicieron crisis. Las expropiaciones se sucedieron inevitablemente, llevando al mercado del petróleo a una nueva etapa en la que todos los países con recursos petroleros finalmente fueron propietarios del petróleo que se encontraba en su suelo. Esto por supuesto no se dio sin resistencia. Los trust, que se sustentaban en el sometimiento y la aniquilación de los adversarios, no podían permanecer apacibles ante las expropiaciones. Misteriosas revueltas, complots, y conspiraciones acompañaban a los acontecimientos.

La primera nacionalización —se comentó anteriormente— fue la del petróleo ruso en 1920. Esta fue precedida por la eliminación de los rusos de Irán en 1919, aprovechando la debilidad del gobierno bolchevique. La respuesta de Deterding, marcó el inicio de la división del mundo en dos grandes bloques. Le siguió la de México en 1938, precedida por una prolongada serie de eventos de los que hablaremos a continuación.

En Venezuela el auge del petróleo data de 1914, bajo el régimen del dictador Juan Vicente Gómez, quien conservaría el poder de 1908 a 1935. La Shell y la Standard tenían las concesiones petroleras. En 1945 se dio la revolución popular, tras la cual llegó al poder Rómulo Betancourt, quien impuso a las compañías petroleras las cuotas 50/50.

El 15 de marzo de 1951 Irán nacionalizó su petróleo. Antes de la Primera Guerra Mundial el petróleo Iraní había estado concesionado a los rusos en el norte y a los ingleses en el sur. En 1925 la BP controlaba el petróleo de Irán. Estalló la revolución, Raza Khan, se erigió Sha con el nombre de Pahlevi y en 1932 eliminó las concesiones a la BP. En 1937 se renegociaron las concesiones y dejó entrar a la Standard. Finalmente, en 1951, Mohamed Mosadeq llegó a ser primer ministro y declaró la nacionalización del petróleo.

En 1960 surgió la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP).

El 24 de febrero de 1971 se declaró la nacionalización de las compañías petroleras en Argelia.

En 1972 se dio la nacionalización del petróleo de Irak. Desde 1918 el petróleo era explotado por la Irak Petroleum Company (IPC), de la que eran socios por partes iguales la Anglo-Iranian Oil (después British Petroleum), Royal-Dutch-Shell, la Standard Oil, Socony Mobil y la Compagnie Française du Pétrole. En 1958 se verificó la revolución por la que tomó el poder el general Kasem, quien otorgó concesiones a los rusos, desplazando a la IPC temporalmente. En 1967 se dio una recomposición a favor de la IPC.

Todo ello implicó la configuración de un nuevo escenario para las fuerzas del mercado, que retomaremos más adelante; antes, habrá que presentar cómo fue que emergió la industria petrolera en México.

I.4 Los inicios del petróleo en México

En México, la demanda de petróleo apareció con la llegada del quinqué en 1861. Lo introdujo al mercado el español Angel Zainz Trapalaga, quien hacía llegar de New York, tanto los quinqués como el keroseno.

El mercado del keroseno era muy prometedor, así que se abrían dos perspectivas interesantes para los empresarios del petróleo: una, la producción de petróleo y, otra, su refinación, justamente para producir el keroseno.

La búsqueda de petróleo en México comenzó ocho años después de Oil Creek. Las chapopoterías de Tamaulipas y Veracruz atrajeron a buscadores de petróleo americanos e ingleses. En 1869 el químico irlandés Adolfo A. Autrey perforó un pozo de 40 m en las Chapopoterías de Cougas cerca de Papántla, Ver.; sin embargo, el pozo no tuvo producción.

En 1870 Adolfo A. Autrey se asoció con John F. Dowling para formar la Compañía Explotadora de Petróleo del Golfo de México. Empezaron la construcción de la refinería La Constancia que comenzó a producir keroseno en 1881.

Entre 1880 y 1886 los ingenieros norteamericanos Samuel Fairburn y George Dikson construyeron en el puerto de Veracruz la primera Refinería en México, con el nombre de El Águila. En 1908 ésta fue adquirida por el inglés Weetman Dickinson Pearson, fundando la Pearson Mexican Eagle o simplemente Mexican Eagle.

En 1886 Henry Clay Pierce creó la compañía Waters Pierce Oil Company — filial de la Standard Oil of New Jersey de John Rockefeller y construyó en el puerto de Veracruz una refinería con capacidad de procesamiento de 500 barriles diarios; el petróleo crudo provenía de Estados Unidos.

En 1883 Simón Sarlat Nova inició la prospección y explotación de las chapopoterías en el Istmo de Tehuantepec, en lo que ahora es el estado de Tabasco. En 1902 el inglés Weetman Dickinson Pearson encontró petróleo en la región del

Istmo, creó la compañía Pearson and Son Company, filial de la Royal Dutch Shell y Sarlat desapareció de la escena.

La producción del petróleo en México

La historia reconoce como el pionero de la extracción de petróleo en México al norteamericano Edward Laurence Doheny (1856-1935)³, nacido en Wisconsin, de padres emigrados irlandeses.

Edward Laurence Doheny fue el Drake de California. El 20 de abril de 1896 a 200 pies de profundidad hizo brotar petróleo en Los Ángeles, en la calles de State y Patton. Tan pronto se supo la noticia, California se invadió de prospectores y aventureros en busca de fortuna. Cinco años después de su descubrimiento se habían perforado 2300 pozos en California.

Buscando horizontes menos competidos, en 1899, Doheny volvió los ojos hacia México. Acompañado por Charles A. Canfield —su socio desde el descubrimiento en California— realizó un reconocimiento en la región de Tampico. Meses después compró, a don Mariano Arguinzoniz en \$300,000.00 pesos, la hacienda del Tulillo (113 hectáreas) situada, en San Luis Potosí, en la vecindad con Tamaulipas y Veracruz. Don Mariano comentaba, que al fin se había deshecho de la hacienda, que no servía para nada, pues estaba hundida en un lodo pegajoso, que no permitía ni practicar la ganadería ni la agricultura.

En 1901 Doheny consignó del dictador Porfirio Díaz la concesión para la explotación de petróleo. Fundó la Mexican Petroleum of California también llamada Mexican Petroleum Company y comenzó a perforar en Ébano, una ranchería de la Hacienda del Tulillo. El 14 de mayo de 1901 brotó el primer pozo petrolero del país, llamado Doheny I, con una producción de 50 b/d.

Entre 1901 y 1903 habían perforado sin éxito alguno, 19 pozos más. Prácticamente al borde de la quiebra con un préstamo del Banco de San Luis Potosí, Doheny, contrató al geólogo mexicano Ezequiel Ordóñez⁴, despedido del Instituto de Geología por haber hecho previsiones muy optimistas en cuanto a las posibilidades de explotación de petróleo en México.

El Ingeniero Ordóñez dirigió la perforación de un pozo cerca del cuello volcánico del Cerro de la Pez, donde se encontraban dos chapopoteras muy grandes. El 3 de abril de 1904, a una profundidad de 501.6 m brotó petróleo del pozo La Pez No 1, con una producción de 1500 b/d, producción que se mantuvo varios años.

En 1906 Doheny fundó la Huasteca Petroleum Company y rápidamente se vio al frente de un trust, que exploraba, producía y transportaba petróleo; en consecuencia, desafiaba al Rey del Petróleo.

Paralelamente, en 1902 en el Istmo de Tehuantepec cerca de San Cristóbal, Weetman Dickinson Pearson encontró petróleo y creó la compañía Pearson and Son, filial de la Royal Dutch Shell.

³ <http://www.socalhistory.org/Biographies/doheny.htm>, on line: (Feb.2005).

⁴ A Ezequiel Ordóñez, se le considera el creador de la geología petrolera mexicana. Localizó un gran número de pozos, entre otros el famoso pozo Cerro Azul No 4, del que el 16 de febrero de 1916 brotó una columna de petróleo de 180 m de altura y produjo 250 mil barriles.

Gracias a las excelentes relaciones de Pearson con el dictador Porfirio Díaz, en 1905 éste le otorgó amplias facilidades para explorar y explotar petróleo en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, San Luis Potosí y Tamaulipas.

En 1909, en retribución, Pearson incluyó como accionistas de la Compañía de Petróleo el Águila a la familia presidencial y altos funcionarios del gobierno. En 1910 Pearson descubrió uno de los más grandes pozos y con éste desarrolla una compañía integral.

Las explotaciones petroleras en México fueron tan exitosas que para 1910 las inversiones americanas en México eran del orden de mil millón de dólares.

Entre 1910 y 1913 llegaron a México varias compañías controladas por Rockefeller: Sinclair Consolidated Oil Corporation, Transcontinental Petroleum, South Penn Oil y Mexican Gulf Oil, de Andrew Mellon, en esa época Secretario de Finanzas del gobierno de Estados Unidos.

Rockefeller, percatándose de que Doheny amenazaba su monopolio, intentó comprar sus compañías. Tras la negativa de Doheny comenzó el sabotaje y se promovió una serie de revueltas y agitaciones políticas. Doheny intentó responder, pero a falta de experiencia y de eficacia finalmente vendió sus concesiones a la Standard.

Con el desplazamiento de Doheny por la Standard y el establecimiento de los ingleses la guerra entre la Standard y la Royal Dutch Shell se trasladó a México.

En 1910, Porfirio Díaz se hizo elegir presidente de México por sexta vez. Cuatro meses antes había mandado aprehender a su amenazador contrincante Francisco I. Madero, quien había osado emprender una campaña electoral por la presidencia después de haber fundado el Partido Antirreleccionista. El 5 de octubre, un día después de haber sido declarado presidente Porfirio Díaz, Madero fue liberado bajo fianza y se exilió en los Estados Unidos.

Desde allá proclamó su plan revolucionario que culminó con el llamado a tomar las armas el 20 de noviembre. Tras una serie de derrotas Díaz fue derrocado por Madero en 1911, con el beneplácito de la Standard Oil.

Dos años después Madero se propuso hacer pagar impuestos a los inversionistas extranjeros, y éstos, en confluencia con los porfiristas, orquestaron el golpe del general Victoriano Huerta, mismo que fue planeado en la propia embajada de Estados Unidos. Madero fue asesinado y Huerta se erigió como presidente. Pancho Villa era lideraba la revolución en el Norte de México, apoyado por el presidente de los Estados Unidos Woodrow Wilson.

En 1914, Carranza apoyado por Villa, Zapata y Obregón derrotó a Huerta, quien abandonó el país en junio de 1914. Erigido héroe de la revolución, Carranza asumió el gobierno, pero tuvo que encarar dos problemas: el trato a las compañías petroleras y las expectativas de un pueblo en condiciones deplorables. A los americanos los contentó con atractivas promesas, a cambio del reconocimiento de su gobierno, pero no pudo responder a los campesinos, pues sus reformas no dieron resultados a corto plazo.

Pancho Villa se convirtió en enemigo de Carranza, Zapata y Obregón y condujo una serie de nuevas revueltas, entre otras, desafió a "los gringos": hizo una

breve incursión en Estados Unidos y tomó Columbus, vecina a la frontera, sembrando pánico y fama.

En 1917 Carranza hizo votar una nueva constitución en la que se estableció el derecho imprescriptible del Estado mexicano sobre su propio suelo. Esto no cambió en nada las explotaciones de petróleo ya establecidas, sólo hacía difícil obtener concesiones sin contrapartida.

En 1920 se dio una nueva insurrección en la que Carranza halló la muerte. Este asesinato puso término a la amenaza de la nacionalización que preocupaba a las compañías petroleras.

Le sucedió Álvaro Obregón uno de los militares más brillantes surgido en el movimiento revolucionario. Con Obregón los ingleses ganaron terreno, los americanos rompieron relaciones diplomáticas. Obregón corrigió y garantizó a los americanos que no serían expulsados de sus explotaciones petroleras: erupción inmediata de la cólera inglesa que se tradujo en el levantamiento de Adolfo Huerta. Obregón lo sometió, pero comprometido con los nacionalistas a quien no podía responder, declinó.

En 1924, Plutarco Elías Calles, sucesor de Obregón, exigió a las grandes compañías renegociar sus títulos de propiedad con contratos a más de 50 años. Los Estados Unidos tenían que decidir entre negociar o mandar tropas. Se negoció, lo que lamentó la Standard Oil, considerando que fue un error histórico. Para ellos las tropas hubieran podido sofocar las nacionalizaciones.

Obregón, reelegido presidente en 1928, fue asesinado. Regresó Calles, que fundó una compañía del Estado PETROMEX —antecesora de PEMEX— y, sin titubeos, se reivindicó un yacimiento al sur de Veracruz que ya se disputaban la Standard y la compañía inglesa Eagle de México.

Los datos de aquella época reflejaban la crítica situación que se vivía: los 17 millones de habitantes tenían menos riqueza que los 16 mil extranjeros que vivían en México. El 79 % de los capitales extranjeros estaban invertidos en petróleo, el 50% del petróleo mexicano era explotado por compañías americanas, el 45 % por las compañías inglesas y sólo el 5 % era nacional.

La Eagle de México le vendía a México su propio petróleo entre 10 y 300 veces más caro que en el extranjero.

El descontento popular llevó al poder a Lázaro Cárdenas, quien de inmediato promovió la repartición de las grandes propiedades entre campesinos y nacionalizó el petróleo el 18 de marzo de 1938. Por primera vez los imperios del petróleo fueron desafiados. La batalla era desigual, pero los anglosajones ocupados por la Segunda Guerra Mundial no tuvieron o no quisieron lanzar una ofensiva militar.

A Lázaro Cárdenas le sucedió Manuel Ávila Camacho, quien entendía muy bien el lenguaje del dólar. Con él se firmó en 1942 un acuerdo con los americanos y se restablecieron las relaciones diplomáticas con Gran Bretaña. Le sucedió Miguel Alemán Valdez con quien se firmó otro acuerdo con los ingleses en 1947. El gobierno de México se obligó a pagar 175 millones de dólares a las compañías extranjeras.

Los movimientos golpistas cesaron desde el comienzo de la Segunda Guerra Mundial. La atención de las grandes potencias estaba puesta en Europa, urgida de ser reconstruida después de la guerra; la geografía del petróleo había cambiado.

I.5 El embargo petrolero de 1973

Antes de 1973, el mercado del petróleo estaba dominado por las majors y el precio de un barril de petróleo se mantenía invariablemente alrededor de 2 dólares. En octubre de 1973, el precio del barril inició una inesperada e inexplicable escalada que lo situó en 10 dólares a fines del año.

Para muchos, el embargo comenzó con la Guerra Yom Kippur que estalló el 5 de octubre de 1973 con el ataque de Siria y Egipto contra Israel. Estados Unidos organizó el apoyo a Israel y en respuesta los países árabes orquestaron el embargo contra los países occidentales que apoyaron a Israel.

El embargo consistió en una reducción de 5 millones de barriles por día. En el mundo occidental el embargo petrolero se hizo evidente por la escasez y la elevación de los precios de las gasolineras, lo que generó un enorme pánico social. Para marzo de 1974 el déficit del mercado era ya de 7 % de la producción mundial.

Los gobiernos de los países industrializados pusieron en alerta a los ciudadanos sobre la vulnerabilidad económica derivada de la dependencia del petróleo y a partir de ahí desplegaron múltiples iniciativas. Algunos países volcaron su atención al desarrollo de fuentes alternativas entre las cuales la de mayor auge fue la energía nuclear y, desde entonces, el concepto de ahorro de energía comenzó a insertarse en la cultura social.

Análisis contextual del embargo petrolero

La versión anterior seguramente es la más difundida en el mundo entero, sin embargo no es ésta la única versión que existe sobre los hechos. Y, en efecto, si se contextualiza el momento, saltan a la vista ciertas contradicciones.

No fue sólo el precio lo que cambió, la comercialización pasó de un día para otro a manos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP)⁵.

⁵ La OPEP fue fundada en 1960 con el fin coordinar y unificar políticas petroleras entre los países miembros, buscando —de acuerdo a sus documentos declarativos— asegurar equidad y estabilidad de precios para los productores, un suministro regular, económico y eficiente para las naciones consumidoras y seguridad para las inversiones en la industria petrolera. En su inicio la OPEP fue integrada por Irán, Irak, Kuwait, Arabia Saudita y Venezuela. Actualmente esta integrada por once países: Argelia, Indonesia, Irán, Irak, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos y Venezuela.

Un embargo a la escala internacional es un rompimiento de acuerdos comerciales, establecido arbitrariamente por el gobierno de un país, las más de las veces sin explicación alguna y simplemente por convenir a sus intereses.

¿Qué países rompieron que acuerdos? La versión anglosajona remarcó que los países árabes rompieron la dinámica del mercado, en consecuencia la OPEP apareció como responsable directa del embargo. La realidad es que el mercado estaba regido por las majors y los precios eran dictados por ellas mismas. Sí a partir de ese momento los precios cambiaron radicalmente, difícilmente fue porque el control del mercado se les salió de las manos, muy probablemente las mismas majors determinaron los nuevos precios y un nuevo escenario para el petróleo.

La OPEP tuvo su propia versión: tipificó el embargo petrolero simplemente como una crisis petrolera, resultado del desequilibrio en el mercado del petróleo, la primera en la historia del petróleo. Resultó lógico eludir la responsabilidad de un evento de resonancia mundial. Pero lo cierto es que después del embargo, la OPEP asumió el control del mercado del petróleo.

La denominación de choque petrolero o crisis petrolera no es exclusiva de la OPEP, se encuentra en la literatura con una frecuencia similar a la del embargo petrolero. Y en efecto, analizar la denominación tiene sentido. Hablar de embargo implica una ruptura deliberada. Por el contrario, hablar de choque o de crisis prácticamente implica el explicar un acontecimiento como producto del azar.

El embargo se dio tras la modificación del escenario petrolero. Las nacionalizaciones de las compañías petroleras de Argelia y de Irak y la renegociación de las concesiones en varios países, en los hechos significaba el desplazamiento de las compañías petroleras de los más ricos yacimientos del mundo. En consecuencia, las percepciones de las compañías petrolera —mayoritariamente anglosajonas— se habían reducido considerablemente.

En 1970 Argelia y Libia obtuvieron acuerdos más favorables. Argelia no se contentó con la renegociación y meses después, el 24 de febrero de 1971 declaró la nacionalización de las compañías petrolera⁶. El jefe del Estado de Argelia en ese momento, Boumediene, anunció que se indemnizaría correctamente a las compañías petroleras francesas y que se continuaría el suministro de petróleo a Francia al precio del mercado. Esta nacionalización, aparentemente convenida, tuvo como antecedente la guerra de Argelia (1954-1962).

En 1972 Irak decretó la nacionalización de la compañía Irak Petroleum Company dominada en un 75% por los anglosajones y que aportaba importantes ganancias tanto a ingleses como a americanos.

Obviamente las nacionalizaciones implicaban una ruptura con los anglosajones y un cambio radical en el escenario político que merecía una respuesta. Irak, —por primera vez— se presentaba ante la opinión pública occidental como una amenaza para occidente. Se decía que en la medida en que, aprovechando sus

⁶ Argelia obtuvo su independencia en 1962, después de 8 años de guerra. El primer presidente Ben Bella fue destituido en 1965. Su sucesor Boumediene realizó una serie de nacionalizaciones, entre ellas la del petróleo, que se consumó en febrero de 1971.

nuevos grados de libertad, se propusiera ampliar la oferta de petróleo, se provocaría una caída en el precio del petróleo.

Nada más contradictorio. Una caída en los precios no podía ser una amenaza para los consumidores. En tal caso era una amenaza para los productores, pues de darse, se verían aún más mermados sus ingresos y esto repercutiría en la banca anglosajona, en la que Arabia Saudita, Irán y Kuwait eran los más grandes inversionistas.

Parecía claro que se preparaba una versión de los eventos que vendrían inmediatamente después. Evidentemente había que hacer ver a Irak como enemigo de occidente.

En las estadísticas de que se disponen, no hay evidencia de que Irak hubiese elevado sus cuotas de producción; por el contrario hay una ligera disminución. Tampoco hay evidencia de que el precio haya disminuido entre 1972 y 1973, lo que sería una evidencia de que Irak aumentó sus exportaciones.

So pretexto del riesgo hipotético de que Irak inundara el mercado de petróleo, Estados Unidos organizó, junto con sus aliados Arabia Saudita e Irán, el bloqueo y el boicot a la compra de petróleo iraki. La guerra de Yom Kippur sirvió de marco para justificar la presencia militar que asegurara el bloqueo.

Con esto, en un momento en que la demanda mundial crecía, la oferta de petróleo mundial bajó. En consecuencia el desequilibrio en el mercado se agudizó y los precios se elevaron súbitamente. Los productores que no disminuyeron sus exportaciones se vieron grandemente beneficiados; no así Irak, sometido por el boicot.

Lejos de resentir las pérdidas derivadas de la nacionalización irakí, se aseguraba un restablecimiento financiero para los intereses anglosajones con el bloqueo al petróleo irakí.

Adicionalmente como el petróleo se facturaba en dólares un aumento en los precios provocó el aumento de la masa de petrodólares, lo que reforzó el peso del dólar en el mundo.

La OPEP no podía decir gran cosa, el aumento de los precios les beneficiaba directamente.

Bajo esta óptica, el embargo petrolero fue una estrategia geopolítica, cuyo objetivo fue reposicionar los intereses anglosajones y afianzar las relaciones político financieras con tres de los más grandes productores de petróleo del mundo de aquella época, Arabia Saudita, Irán y Kuwait; relación que hasta la fecha ha brindado grandes beneficios al mundo occidental.

En efecto, lo que en realidad pasó durante el embargo no podía ser del dominio público; era tanto como poner al descubierto los intereses geopolíticos. El embargo mostró a las grandes potencias que el petróleo podía ser un poderoso instrumento de la política y de la economía mundial.

El embargo petrolero marcó el fin del control monopólico del petróleo y el nacimiento del mercado petrolero, un nacimiento altamente rentable, del que las majors fueron las primeras beneficiadas.

Pero, en efecto, independientemente de toda versión, el embargo evidenció la importancia del petróleo en la sociedad moderna y lo imprescindible de los productos derivados —gasolinas, diesel, gas LP, polímeros, solventes, fertilizantes—. Comenzó a generalizar la conciencia sobre su carácter no renovable y la necesidad de su preservación. Nació con ello la economía energética como una nueva disciplina dedicada al monitoreo de la energía, al estudio de las mutaciones microscópicas, el diseño de políticas de ahorro y de políticas de sustitución.

Bibliografía de Referencia:

1. Dan la Botz, Edward L. Doheny : Petroleum, Power and Politics in the United States and Mexico, Hardcover (1991).
2. Jacques Bergier et Bernard Thomas, La guerre secrète du pétrole, Ed. J'ai Lu, (1971).
3. L'histoire du pétrole, Questions internationales, No 2, (juillet-aout 2003).
4. Margaret Leslie Davis, Dark Side of Fortune: Triumph and Scandal in the Life of Oil Tycoon Edward L. Doheny, The University of California Press (1998).
5. Martin R. Ansell, Oil Baron of the Southwest: Edward L. Doheny and the Development of the Petroleum Industry in California and Mexico, The OHIO State University Press (1998).
6. Paul Hendrix, Sir Henri Deterding and Royal Dutch-Shell: Changing Control of World Oil, 1900-1940. Bistol Académic Press, UK, (2002).
7. PEMEX, Seis Décadas por México, La Revista Peninsular No. 464 (11 Sep 1998).
8. Pierre René Bauquis & Emmanuelle Bauquis, Comprendre l'avenir Petrole & Gaz, Editions Hirle (2004).
9. Ramón Domínguez Betancourt, Historia del Petróleo en México, NFPA Journal Latinoamericano Online, <http://nfpjournal-laitno.com/> (07/02/2005).
10. Rousselot Gilles, Le pétrole va-t-il révolutionner le monde?, Les Editions de l'Hèbe, (avril 2004).
11. Xavier Boy de la Tour, Au delà du mythe, Editions TECHNIP, Publications de l'Institut Français du Pétrole, (2004).

II. El interés mundial por el petróleo

II.1 Papel actual del petróleo

El petróleo, el gas, el carbón, la energía nuclear y la hidroelectricidad son las fuentes primarias de energía de mayor demanda en el Mundo⁷. A partir de ellas se obtienen fuentes secundarias de energía o fuentes de energía útil: combustibles como las gasolinas, el keroseno, el gas domestico, la electricidad.

En 2003 el consumo mundial de energía primaria convencional ascendió a 9,741 millones de toneladas equivalente de petróleo (Mtep). El consumo de petróleo representó el 37.3 % (3,637 Mtep) del total; el carbón, 26.5 % (2,578 Mtep); el gas, 24 % (2,332 Mtep); la energía nuclear, 6.1 % (599 Mtep) y la hidroelectricidad 6.1 % (595 Mtep) (Figura 1).

Este es el orden jerárquico de las diferentes fuentes de energía primaria. El petróleo con la contribución más alta, indiscutiblemente es la fuente de energía primaria más importante para la humanidad. Es además, la fuente de energía más versátil, de él se extraen combustibles para mover barcos, aviones —comerciales y de guerra—, automóviles, trenes etc.; se extrae combustóleo para generar electricidad y calefacción, gas butano y propano para uso doméstico.

El petróleo es además la materia prima de la industria petroquímica. De él se obtienen alrededor de 300,000 productos diversos: caucho para los neumáticos, asfalto, aceites, pinturas, solventes, barniz, laca, tintas, TNT, NAPALM, parafinas, plásticos, nylon, insecticidas, abonos.

Es la única fuente primaria de energía en estado líquido. Esto facilita el transporte a través de oleoductos y el almacenamiento en tanques convencionales, tanto de petróleo crudo como de sus productos. A diferencia, el carbón necesita vagones o camiones; el gas natural requiere ser licuado antes de transportarlo, después es necesario desgasificarlo y entubarlo, proceso que es costoso porque requiere un desarrollo industrial enorme.

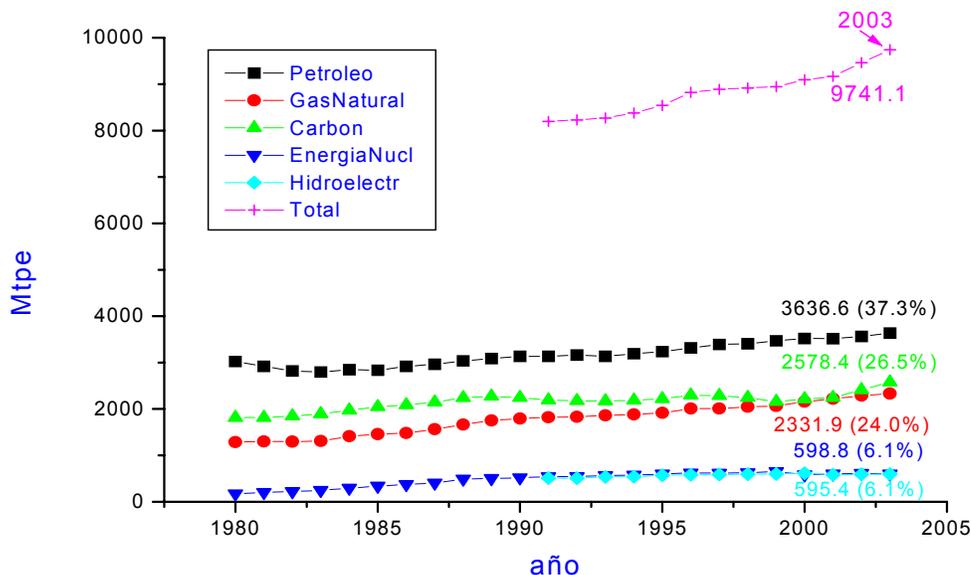
Por sus ventajas —en su extracción, transporte y manejo— respecto a otras fuentes de energía, y su versatilidad tanto en la industria energética como en la industria petroquímica, el petróleo, ha alcanzado un carácter imprescindible en las sociedades modernas. Ha llegado a ser considerado “la sangre” de la economía.

⁷ La geotermia debería ser incluida entre las fuentes primarias de energía; sin embargo, su ubicación restringida geográficamente y su potencial reducido a escala mundial le impiden ser considerada como una fuente macroenergética, por tanto no aparece en las estadísticas mundiales.

La leña y mas generalmente la biomasa (§ III.5) con un consumo mundial más importante y más generalizado que la geotermia, debería también ser incluida entre las fuentes de energía primaria. Sin embargo no ha merecido gran atención, tal vez por su carácter no-comercial a escala internacional, por tanto no aparece en las estadísticas mundiales.

Hay que remarcar que la clasificación de la energía no esta totalmente acabada.

Figura 1. Consumo Mundial de Energía Primaria (1980-2003)



fuerite: BP Statistical review of world energy, 1991- 2004.

La dependencia en el petróleo de los países industrializados ha sido tal que el mercado mundial del petróleo ha llegado a ser el más tenso del mundo. Se compra y se vende seguridad: económica, política y militar.

El petróleo ha llegado a ser uno de los hilos de la economía y la política mundial, que impone pautas en muchos acontecimientos y cumple un papel que va mucho más allá de su papel estrictamente energético. Juega un papel económico, es la fuente de ingresos de los países petroleros y de beneficio de las majors, es factor de crecimiento económico, es fuente de empleos, suele ser factor de inflación. Juega un papel financiero; su facturación en dólares conllevó a la imbricación mundial petróleo-dólar y al fortalecimiento del dólar como pivote de sistema financiero mundial. Juega un papel geopolítico; es uno de los grandes objetos de la geopolítica, es factor común en los conflictos del Medio Oriente, etc.

¿Cuándo y cómo fue que llegó a tal estatus?

Para muchos el punto de partida es el embargo petrolero de 1973, acontecimiento que marca el nacimiento del mercado del petrolero actual. Sin embargo, el análisis presentado en el capítulo anterior ha puesto en evidencia una injerencia gradual del petróleo en la economía y política mundial, desde la conformación de los trust del petróleo. Estos nacieron controlando los mercados y convirtiendo al petróleo en un insumo básico sinónimo de progreso. Las majors con su política de precios bajos y amplia oferta, no sólo resguardaron celosamente el control del mercado, lo hicieron tan accesible que la industria mundial adoptó como

fuerza de energía de base. Con ello la industria mundial, fraguó una dependencia irreversible.

Así las cosas, una de las grandes preocupaciones de los países industrializados ha sido buscar estrategias para garantizar el suministro continuo de petróleo —a corto, mediano y largo plazo—. En el plano declarativo se añade como preocupación de los Estados, el obtener un suministro al más bajo precio. Pero los mecanismos de regulación no están al alcance de todos y los precios bajos no necesariamente es un objetivo común a todos los países industrializados.

No pueden jugar el mismo papel un país estrictamente consumidor, un país operador —aquel que a su vez es productor y consumidor— y un país estrictamente petrolero —como es el caso de los países de la OPEP.

Los consorcios americanos Exxon-Mobil, Chevron-Texaco, Amoco, Arco, Conoco-Phillips Petroleum y Marathon Oil Corporation en 2004 sumaban más del 40 % del valor mercantil de los 20 primeros consorcios petroleros del mundo (Tabla 4); tan sólo Exxon-Mobil representa el 20.4 % del total. Eso significa que para los Estados Unidos el interés por el petróleo no es propiamente el de un país consumidor; es decir, no es estrictamente el de garantizar un suministro de petróleo a bajos precios. No es menos importante el interés por mantener —con gran holgura— la supremacía en el ámbito del mercado mundial del petróleo; finalmente los grandes consorcios americanos son parte de la fortaleza de la economía americana.

A fines de la década pasada se sucedieron grandes operaciones financieras de concentración y asociación entre grupos financieros y compañías petroleras: Exxon-Mobil se fusionaron en 1998, Chevron-Texaco en el 2000, Amoco y Arco, se asociaron con British Petroleum (BP) en 1999. El interés de los grandes consorcios es multinacional.

Gran Bretaña, Holanda, Francia, Italia, juegan un papel similar al de los Estados Unidos aunque en proporciones más reducidas. Francia y Japón no son productores de petróleo e Italia lo es en forma insignificante.

Al 2004 British Petroleum concentraba el 12.8 % del valor mercantil del conjunto de los 20 primeros consorcios petroleros; Royal-Dutch-Shell, de capital mixto Gran Bretaña-Holanda, el 12 %; Total de Francia el 8.6%; ENI de Italia, el 5.6%; Repsol-IPF de España, el 1.9%.

De ahí que una cosa sea el plano declarativo y otra los intereses del Estado. La amenaza de una crisis energética mundial ha merecido una atención política, económica, y tecnológica. El desarrollo tecnológico y la fortaleza financiera de los países industrializados ha posibilitado una especie de desdoblamiento de intereses: interesa garantizar el suministro de energía, pero no menos importante son los beneficios de las transacciones asociadas al petróleo.

II.2 Eventos mundiales y precios del petróleo

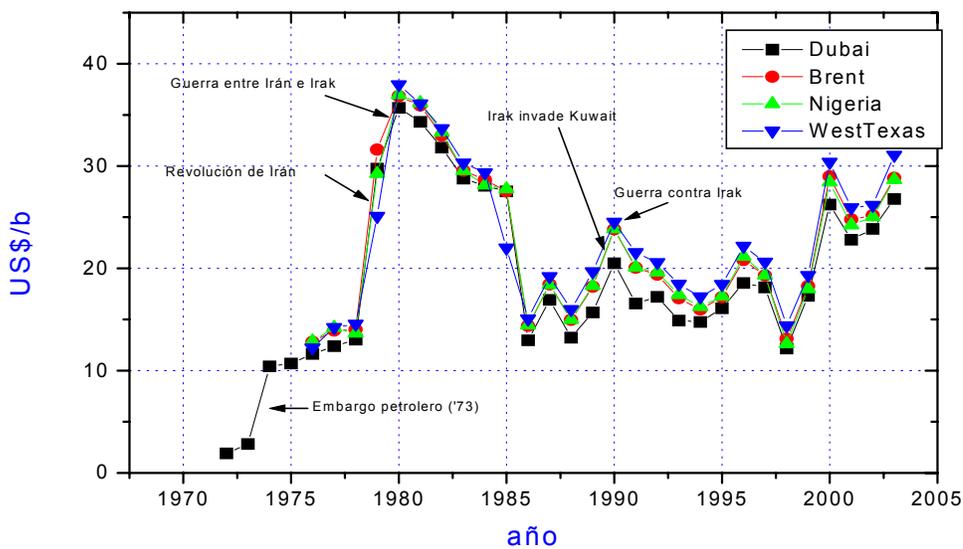
Día con día se ajustan y delinear estrategias en la búsqueda del control del mercado de petróleo, estrategias que no escatiman acciones. El petróleo alcanzó el estatus de objeto de seguridad mundial para las grandes potencias, desde la Primera Guerra Mundial.

Cualquier zona del mundo, donde haya reservas petroleras, se puede considerar como una especie de zona sísmica que potencialmente puede ser el epicentro de eventos que cimbrén la economía mundial.

El Medio Oriente, por ser la zona con mayores reservas, se considera la zona de más alto riesgo y la que merece más atención. Es el escenario de múltiples acontecimientos con repercusión mundial.

Los acontecimientos mundiales relacionados con el petróleo, se pueden leer en la cronología de los precios del petróleo. En La figura 2 se muestra en forma gráfica la relación entre el precio del petróleo y las guerras en el Medio Oriente.

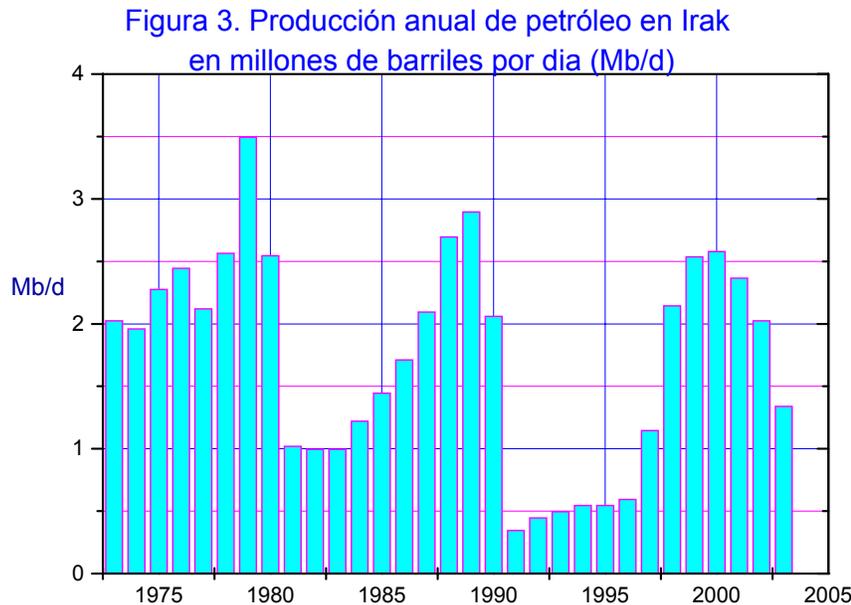
Figura 2. Evolución de los Precios de Petróleo (1972-2003)



Fuente: BP Statistical review of world energy, june 2004.

Los 5 años posteriores al embargo el precio del petróleo sufrió aumentos moderados. En 1978 el precio alcanzó apenas los 13 dólares el barril. No bien las sociedades se adaptaban a los nuevos precios cuando estalló la revolución de Irán, con lo que su petróleo se retira del mercado. Irak, entonces aliado de Estados

Unidos, aumentó sus cuotas de producción casi en un millón de barriles (Figura 3), pero aun así el precio rebasó los 30 dólares.



Elaborada con datos de: US Department of Energy's Energy Information Administration, (nov.2002); BP Statistical Review (june, 2004)

En 1979 estalló la guerra entre Irán e Irak que nuevamente bloqueó el petróleo iraquí dando como resultado la segunda gran crisis petrolera. Como consecuencia en 1980 los precios llegaron a rebasar los 40 dólares; el precio promedio fue del orden de 37 dólares el barril.

El precio del petróleo comenzó a revertirse en 1981, con la ampliación de la oferta por Arabia Saudita y los países no-OPEP. A fines de 1982 la OPEP fijó la primera cuota de producción tratando de asegurar, dicen, la estabilidad de los precios. Los precios experimentan un descenso paulatino debido a que los países no-OPEP continuaron ampliando la oferta.

En 1984 Arabia Saudita incrementó su producción en 44 % y como resultado, el precio sufrió una vertiginosa caída desde 28 a 14 dólares el barril, evento denominado el contrachoque petrolero que se prolongó hasta 1986.

En 1987 el precio repuntó a 18 dólares; pero en 1988, con el fin de la guerra Irán-Irak, se normalizó la oferta del petróleo iraquí y el precio revino a 14 dólares.

El 2 de agosto de 1990 Irak invadió Kuwait, congelándose alrededor del 90 % de la producción del petróleo kuwaití- con lo cual el precio del petróleo se disparó, dando como resultado un precio promedio en el año de alrededor de 24 dólares el barril. La respuesta a la invasión de Kuwait los países aliados encabezados por Estados Unidos, orquestaron la guerra de Irak de 1991, también conocida como la guerra del Golfo Pérsico. Los ataques de los aliados comenzaron el 17 de enero de

1991. En unas cuantas semanas la guerra revirtió el precio del petróleo y, al mismo tiempo, el control del mercado pasó a manos de los aliados; el cese al fuego se dio el 28 de febrero de 1991.

La guerra del Golfo además de poner el control del mercado petrolero en manos de los países consumidores fue ocasión inmejorable para que Estados Unidos estrechara aún más sus relaciones y compromisos con Kuwait y Arabia Saudita, países que no disponen propiamente de un ejército para defender su territorio. El ejército de Estados Unidos y países aliados asumió la defensa de Arabia Saudita, Kuwait y Emiratos Árabes; el financiamiento corrió a cargo de estos últimos, amparados en su petróleo.

De hecho el apoyo militar puede ser considerado la clave del control del mercado por los países consumidores.

Tras la ayuda militar de Estados Unidos y los aliados los compromisos políticos y financieros de Arabia Saudita y Kuwait aumentaron sustancialmente; entre otras cosas, la deuda externa aumentó. Salvar la respectiva deuda externa y disponer de recursos financieros para mantener y renovar su planta industrial, servicios tecnológicos, etc. requirió la disposición de mayores cantidades de divisas. Su única fuente de divisas ha sido el petróleo. Pero el incremento en los volúmenes de las exportaciones petroleras inequívocamente conduce a la saturación del mercado y a la caída de los precios, que afecta siempre a los países productores de petróleo.

En 1993 y 1994 el precio del petróleo se ubicó alrededor de 14 dólares. En 1995 repuntó un poco para situarse nuevamente entre 18 y 20 dólares. Pero luego vino la crisis financiera de México del 1995, que detonó con la devaluación del peso y que requirió una renegociación de la deuda externa y en consecuencia adicionales compromisos financieros con el FMI y la banca internacional. Para enfrentar la crisis el gobierno de México decidió aumentar sus cuotas de exportación. En 1996 las exportaciones aumentaron 16.5 %, mientras que en 1997 aumentaron 6.8 %. Estos incrementos, adicionales a los de otros países productores, trajo como consecuencia la caída de los precios del petróleo.

En 1997 las exportaciones mundiales aumentaron en promedio 1 millón 480 mil barriles por día. El 68 % correspondieron al Medio Oriente, el 12 % a la Federación Rusa, el 7.5 % a México. Evidentemente el papel del Medio Oriente fue determinante, la Federación Rusa contribuyó a recrudecer la situación, pero el papel de México en el mercado petrolero no fue nada inocuo. Ese aumento en las exportaciones trajo consigo una de las caídas del precio más dramática en la historia del mercado petrolero, la de 1998.

La crisis de la Federación Rusa de 1998 coincidió con la caída de los precios, siendo un ejemplo elocuente de la vulnerabilidad de un país cuando sustenta su fortaleza económica en el petróleo. Las enormes reservas de petróleo y su excedente en la capacidad de producción no fueron suficientes para evitar la crisis. No fue propiamente la caída de los precios del petróleo de 1998, la causa de la crisis financiera Rusa —de agosto del 1998—. Sin embargo si se toma en cuenta que en esa época el 61 % de la captación de divisas de la Federación Rusa tenía su origen

en las exportaciones petroleras, la caída de los precios del petróleo debió haber significado una reducción en el flujo de divisas del orden del 25 %. En las condiciones de fragilidad del sistema financiero ruso, con una burocracia insaciable, una disminución en la captación de divisas de ese orden indudablemente era factor de aceleración de la crisis financiera mundial.

En 1998 los precios tocan fondo, situándose en niveles similares a los de 1976-1977. Para el petróleo de mejor colocación en el mercado, el West Texas, el promedio anual en 1998 fue de 14.4 dólares; el precio del Dubai, 12.2 dólares el barril; mientras que el precio del petróleo maya mexicano fue inferior a los 9 dólares.

Hay que remarcar que estos precios fueron prácticamente del mismo orden que los costos de producción. En estas condiciones los márgenes de beneficio eran sumamente reducidos y en algunos casos no lo había.

Para tener una referencia, en 1999, los precios de producción oscilaban entre 5 y 10 dólares por barril en Rusia, Indonesia y México; entre 7 y 12 dólares en el Mar de Norte; entre 3 y 10 dólares en Estados Unidos y Canadá; mientras que en el caso del Medio Oriente, oscilaban entre 1 y 5 dólares.

Aun en Medio Oriente esta situación era insostenible, justamente porque sustentan sus finzas exclusivamente en el petróleo.

El 23 de marzo de 1998 en Riyadh, Arabia Saudita, México, Venezuela y Arabia Saudita acordaron un pacto en el cual los tres países decidían reducir sus exportaciones petroleras, con el fin de revertir la vertiginosa caída del precio del petróleo. Tras esta declaratoria, 11 países de la OPEP más Noruega, acordaron una disminución en la producción, de 1 millón 245 mil barriles de crudo por día (b/d), entre abril del 98 y el último del año. Arabia Saudita redujo su producción en 300 mil barriles por día, Argelia 50 mil, Emiratos Árabes Unidos 125 mil, Indonesia 70 mil, Irán 140 mil, Kuwait 125 mil, Libia 80 mil, Nigeria 125 mil, Qatar 30 mil, y Venezuela 200 mil b/d.

Adicionalmente Noruega anunció una reducción de 100 mil barriles por día en la medida del cumplimiento de los otros países.

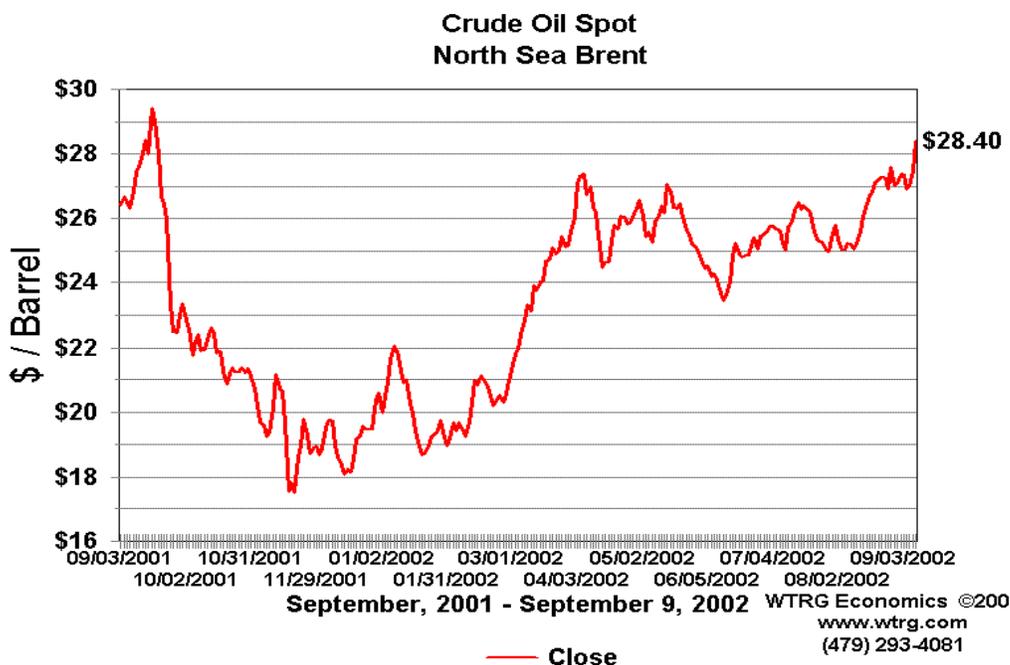
En 1999 el precio experimentó un nuevo repunte, el precio promedio del año es del orden de los 18 dólares. Tal repunte fue resultado de la contracción del mercado. El Medio Oriente logró reducir sus exportaciones en 460 mil b/d, México participó en esta contracción reduciendo sus exportaciones en 80 mil b/d.

En el 2000 continuó aumentando el precio del petróleo, alcanzando un promedio del orden de los 28 dólares. Puede interpretarse que esto aún fue consecuencia de la reducción de las exportaciones del año anterior. Sin embargo, a pesar de la contracción de las exportaciones de México, Venezuela, Arabia Saudita, y Noruega, las exportaciones mundiales aumentaron más de 3 % por año.

En el 2001 la tendencia ascendente se frenó, el precio promedio descendió a 24 dólares y la demanda de petróleo disminuyó 0.2 %. Influyeron, sin duda, los atentados a las Torres Gemelas del 2001, que provocaron una drástica disminución en los viajes aéreos y por ende en la demanda de combustibles.

En la gráfica de la Figura 4 se pueden observar las variaciones del precio del barril de petróleo Brent de septiembre 2001 a septiembre 2002. Es de llamar la atención la gran sensibilidad del mercado. Dos días después de los atentados a las Torres Gemelas el precio sufrió una disminución de 29.5 a 22.5 dólares el barril.

Figura 4.- Variación del Precio del petróleo Brent de septiembre 2001 a septiembre 2002



Fuente: <http://www.wtrg.com/daily/oilandgasspot.html#Brent>. [On line] (10/09/02).

El efecto de los atentados se prolongó unos cuantos meses con precios entre 18 y 22 dólares. Los precios del barril recuperaron su nivel siete meses después, en abril del 2002. Aun así el precio promedio del año fue ligeramente superior al del 2001.

Los atentados a las Torres Gemelas no fueron los únicos eventos del año. En respuesta a esto se sucedieron los bombardeos a Afganistán, que los medios registraron como la guerra de Afganistán. Contrariamente a lo esperado, los precios se estabilizaron aproximadamente en 25 dólares, después de la guerra.

Durante el resto del año se sucedieron múltiples perturbaciones en los precios, terminando el 2002 aproximadamente en 30 dólares el barril.

En el 2003 el precio promedio del petróleo fue del orden de 29 dólares, del mismo orden que el año 2000. El precio indiscutiblemente estuvo asociado al recrudecimiento de la situación en Medio Oriente. De noviembre del 2002 a marzo del 2003 en forma gradual paso de 24 a 34 dólares. Los precios experimentan una caída brusca con el entallamiento de guerra en Irak el 19 de marzo, regresando a 25 dólares (nivel promedio del 2002) Figura 5.

Figura 5.- Variación del Precio del petróleo Brent en el 2003

Fuente: <http://www.wtrg.com/daily/oilandgasspot.html#Brent>, [On line] (19/09/03).

Ante la opinión pública aparentemente el móvil de las guerras es evitar la elevación en los precios; en el plano declarativo esta es la versión que predomina. Pero las cosas no son tan simples ni tan directas.

Las guerras en las que se reducen los volúmenes mundiales de petróleo en el mercado, los precios aumentan; tal fue el caso de la guerra de Kippur y la revolución de Irán. En el caso de la guerra entre Irán e Irak, los volúmenes mundiales no se redujeron; Arabia Saudita jugó por primera vez el papel de válvula de seguridad, aumentando sus cuotas de producción.

En el caso de la primera guerra de Irak, con la invasión de Kuwait se bloqueó la producción de Kuwait y esto trajo como consecuencia la elevación temporal de los precios, que se revirtió con el aumento en la producción, de los países productores aliados, encabezados por Arabia Saudita. Esto coincidió o se hizo coincidir con el estallamiento de la guerra de Irak, reforzando la idea de que la guerra es un instrumento para contener o bajar los precios. Si la guerra fuera un instrumento para mantener precios bajos, tanto la guerra en Afganistán a fines del 2001, como la de Irak del 2003, ponen en duda la efectividad de tal instrumento, puesto que en ambos casos los precios moderados duraron tan sólo unos meses.

Notablemente, para los Estados Unidos, y en especial para las compañías petroleras americanas —Exxon-Mobil, Chevron-Texaco, Conoco-Phillips Petroleum, Amoco-Arco y Marathon— más que precios bajos interesa el control del mercado. En

un momento de declinación aparente de una fracción de las reservas de petróleo de los Estados Unidos, es muy dudoso que interesen precios bajos.

La guerra pretende siempre una ruptura en el estado de cosas que, en el caso de las guerras del petróleo, sin duda va más allá del control de precios.

II.3 El papel del Medio Oriente

La distribución geográfica de las reservas de petróleo no son homogéneas. Las reservas mundiales están ubicadas en alrededor de 50 países. La mayor parte de ellas están concentradas en el Medio Oriente.

El Medio Oriente, comprende Arabia Saudita, Irak, Emiratos Árabes, Kuwait, Irán, Qatar, Omán, Yemen, Siria, Bahrein, Líbano, Israel, Jordania y Egipto. Continentalmente Egipto está en el norte de África, pero de acuerdo a la geografía del petróleo es común encontrarlo como parte del Medio Oriente. De hecho el orden en que se presentan los países es el orden de importancia de la geografía del petróleo.

En diciembre del 2003, el Medio Oriente disponía del 63.3 % de las reservas mundiales de petróleo (Tabla 1). Arabia Saudita pose el 22.9 % de las reservas mundiales, Irán el 11.4 %, Irak el 10 %, Emiratos Árabes Unidos el 8.5 % Kuwait 8.4 %; mientras tanto hay del orden de 140 países en el mundo sin gota de petróleo.

Por otra parte, entre los países con reservas, Estados Unidos, China, la India y gran parte de los países europeos, consumen mucho más de lo que disponen.

El hecho de que la distribución geográfica de las reservas de petróleo no sea homogénea, aunado con la enorme demanda mundial y la no menos importante oferta, han hecho del mercado del petróleo un eje estratégico de la política internacional y un ámbito de férreas disputas.

En el 2003, el Medio Oriente produjo el 29.4 % de petróleo del mundo: 22 millones 607 mil barriles por día (~ 22.6 Mb/d), de los 76 millones, 777 mil barriles por día que se produjeron a nivel mundial (~ 76.8 Mb/d). Tan sólo Arabia Saudita produjo 12.8 % del petróleo del mundo (tabla 2).

De los 22 millones 607 mil barriles por día producidos por el Medio Oriente en el 2003, 18 millones 943 mil barriles por día fueron destinados al mercado mundial. Es decir, el Medio Oriente exportó 83.8 % de su producción.

La importancia del Medio Oriente radica básicamente en estas tres condiciones: sus reservas, su capacidad de producción y su capacidad de exportación.

A partir del embargo petrolero del 73, una de las grandes preocupaciones de los países industrializados ha sido buscar estrategias para garantizar el suministro continuo de petróleo al más bajo precio —a corto, mediano y largo plazo—.

Una de las grandes lecciones que dejó el embargo fue poner en evidencia que entre los elementos que pueden desequilibrar el mercado y, en consecuencia,

pueden desestabilizar los precios, se encuentran desde simples cambios en la política exterior de los países productores de petróleo, hasta la eventualidad de problemas políticos como guerras civiles o guerras entre países.

Tabla 1. Reservas Probadas de Petróleo de los primeros países del Mundo a fines del 2003			
		Reservas Probadas (mMb)	Reserva/Producción (años)
1	Arabia Saudita	262.7	73.3
2	Irán	130.7	92.9
3	Irak	115.0	127.0
4	Emiratos Árabes	97.8	81.0
5	Kuwait	96.5	123
6	Venezuela	78.0	71.5
7	Federación Rusia	69.1	20.6
8	Libia	36.0	66.3
9	Nigeria	34.3	43.1
10	Estados Unidos	30.7	11.3
11	China	23.7	19.1
12	Canadá	16.9	15.5
13	México	16.0	11.6
14	Qatar	15.2	45.5
15	Argelia	11.3	16.7
16	Brasil	10.6	18.7
17	Noruega	10.1	8.5
18	Kazajstán	9.0	22.3
19	Angola	8.9	27.5
20	Azerbaiján	7.0	61.2

	Total	1147.7	41.0

Datos tomados de BP Statistical Review, (2004).

Tabla 2. Principales Productores de Petróleo en el Mundo del 2001 al 2003 (millones de barriles por día)				
		2001	2002	2003
1	Arabia Saudita	8.992	8.664	9.817
2	Federación Rusia	7.056	7.698	8.543
3	Estados Unidos	7.669	7.626	7.454
4	Irán	3.734	3.420	3.852
5	México	3.560	3.585	3.789
6	China	3.306	3.346	3.396
7	Noruega	3.343	3.329	3.260
8	Venezuela	3.233	3.218	2.987
9	Canadá	2.712	2.838	2.986
10	Emiratos Árabes	2.430	2.159	2.520
11	Reino Unido	2.476	2.463	2.245
12	Kuwait	2.069	1.871	2.238
13	Nigeria	2.199	2.013	2.185
14	Irak	2.371	2.030	1.344

Datos tomados de BP Statistical Review, (2002, 2003, 2004).

Tabla 3. Principales Exportadores de Petróleo en el Mundo del 2001 al 2003
(millones de barriles por día)

		2001	2002	2003
1	Arabia Saudita	7.421	7.301 †	8.380 †
2	Ex Unión Soviética	4.679	5.370	6.003
3	Noruega	3.201	3.120 †	3.048 †
4	Venezuela	2.927	2.624 †	2.461
5	Irán	2.557	2.305 †	2.720 †
6	Emiratos Árabes	2.140	1.875 †	2.224 †
7	México	1.882	1.966	2.115
8	Irak	2.200	1.900	1.100
9	Canadá	1.804	1.959	2.096
10	Kuwait	1.930	1.649 †	2.012 †
11	Nigeria	1.960		

*Datos tomados de BP Statistical Review, (2002, 2003, 2004).
†: estimación propia*

El Medio Oriente significa para los países industrializados la zona de más alto riesgo en relación al mercado petrolero. Los expertos consideran que se está más expuesto a los efectos de la volatilidad del mercado petrolero en la medida que se dependa más del petróleo del Medio Oriente.

Una de las estrategias de Estados Unidos —repetimos, el primer consumidor del mundo— fue optar por contar con múltiples proveedores de petróleo. De esta manera, se pensó, se estaba menos expuesto a eventuales problemas políticos en los países productores de más alto riesgo.

La realidad es que Estados Unidos no tiene la más mínima intención de prescindir del petróleo del Medio Oriente; más bien parece desafiar su propia tesis sobre la dependencia en las zonas de alto riesgo. Después de la guerra del Golfo de 1991 la dependencia aumentó en un 55% aproximadamente; aunque ciertamente, se reforzaron las estrategias políticas y militares en el Medio Oriente, seguramente con el fin de minimizar riesgos.

En 1991 el consumo de petróleo proveniente del Golfo Pérsico fue del orden de 1 millón 800 mil barriles por día (1.8 Mb/d). En el 2000 fue del orden de 2 millones 400 mil barriles por día (2.4 Mb/d), en el 2001 ascendió a 2 millones 775 mil barriles por día (2.775 Mb/d) y en el 2003 a 2 millones 536 mil barriles por día (2.536 Mb/d).

Aun si Estados Unidos comprara todo el petróleo que importa a Canadá, México y Venezuela, cualquier rompimiento con Arabia Saudita, Kuwait, Nigeria, etc., provocaría una elevación de los precios. Obviamente entre mayor sea el rompimiento mayor es el impacto.

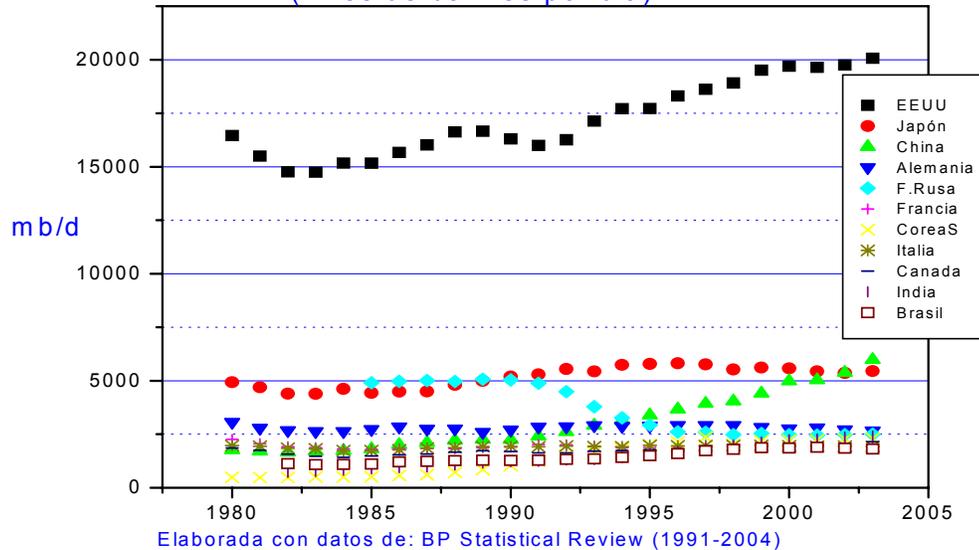
Medio Oriente aparece a la opinión pública como una de las zonas más conflictivas en el mundo, donde la guerra puede estallar de un momento a otro por complejos y añejos problemas territoriales, raciales o de religión. A la opinión pública los problemas en Medio Oriente le parecen indescifrables.

Aunque no está a nuestro alcance el discernir el problema en toda su amplitud, se puede mostrar que no es tan indescifrable. Los conflictos en Medio Oriente no tienen todos la misma naturaleza, pero existe un factor común: el petróleo. La guerra Irán e Irak fue protagonizada por dos países petroleros, la guerra del Golfo comienza con la invasión de Irak a Kuwait y en ella se conjugan intereses petroleros, pero a diferencia, la guerra entre Israel y Palestina tiene su origen en conflictos territoriales y de religión, ni el uno y el otro son países petroleros, pero ha tenido, un gran impacto en el mercado petrolero. Sobre todo justifica la presencia militar de Estados Unidos en la zona,para los fines y usos que al interesado convenga.

II.4 Principales movimientos en el mercado del petróleo

Los primeros 10 consumidores de energía en el mundo en la década de los 80's y 90's habían sido: Estados Unidos, Japón, China, Alemania, Federación Rusa, Francia, Corea del Sur, Italia, Canadá, y Brasil. En 1992 la India desplazó a Brasil del 10º lugar y en el 2003 se colocó como el 6º consumidor mundial (figura 6).

Figura 6.- Los primeros consumidores de petróleo en el mundo (miles de barriles por día)



Los comportamientos más explosivos son los de, China, la India, y Estados Unidos.

China a mediados de los 80's tenía un consumo, del orden de 0.4 veces el de Japón. De 1980 al 2003 multiplicó su consumo por un factor de 2.4. En el 2002 desplazó a Japón como segundo mayor consumidor.

La India, de 1990 al 2003 duplicó su consumo; sin embargo el aumento fue tan sólo del orden de 1.2 Mb/d.

Sin embargo, el aumento mundial más importante en términos absolutos es el de Estados Unidos, de 1990 al 2003 pasó de 16.2 a 20.071 Mb/d, es decir se elevó 3.871 Mb/d. En el mismo periodo el consumo de China se elevó en 3.737 Mb/d.

Estados Unidos es el mayor consumidor y el mayor importador de petróleo en el mundo. Su consumo en el 2003 ascendió a 20 millones 71 mil barriles por día (20.071 Mb/d) —de los 78 millones 112 mil barriles por día (78.112 Mb/d) que se consumieron en el mundo— es decir Estados Unidos consumió el 25.1 % del petróleo del mundo.

De su consumo total, Estados Unidos importó 12 millones 254 mil barriles por día (12.254 Mb/d); es decir, el 61 %. Esta cantidad representó el 26.2 % del mercado mundial. Sus importaciones provinieron:

- 20.7 % del Medio Oriente, 2.536 Mb/d,
- 20 % de Centro y Sud América, 2.458 Mb/d,
- 16.9 % de Canadá, 2.069 Mb/d,
- 13.4 % de México, 1.639 Mb/d,
- 11.6 % de África Occidental 1.424 Mb/d,
- 8.4 % de Europa 1.026 Mb/d,
- 3.3 % del Norte de África 0.407 Mb/d,
- y el resto de diversos países, entre otros de Rusia, Asia del Pacífico y otros no identificados.

En virtud de que los proveedores de petróleo no son muchos en el mundo, la estrategia de tener múltiples proveedores no podía tener grandes alcances. En los hechos, Estados Unidos no ha prescindido del petróleo del Medio Oriente.

China es el 2º consumidor mundial de petróleo y el país con el comportamiento más explosivo. En 1990, su consumo ascendió a 2 millones 275 mil barriles por día (2.275 Mb/d), que representaba el 3.4% del consumo mundial; era el 5º consumidor en el mundo. En el 2003 su consumo ascendió a 5 millones 982 mil barriles por día (5.982 Mb/d), equivalente al 7.6% del consumo mundial. En el 2003 su producción representó el 57 % del consumo, sus importaciones ascendieron a 2 millones 275 mil barriles por día (2.275 Mb/d), que provinieron:

- 40 % del Medio Oriente, 1.045 Mb/d,
- 27 % de diversos países de Asia del Pacífico 700 mil b/d,
- 12 % de África, 315 mil b/d,
- 9.3 % de los países de la ex Unión Soviética 243 mil b/d,
- y el restante de diversos países.

Japón es el tercer más grande consumidor mundial y el segundo más grande importador en el mundo. En el 2003 su consumo ascendió a 5 millones 451 mil barriles por día (5.451 Mb/d). Sin embargo, la totalidad del petróleo que consume es importado. En el 2003 importó 5 millones 314 mil b/d (5.314 Mb/d), que representaron el 11.6% de las exportaciones mundiales. Su importaciones provinieron:

- el 79.1 % del Medio Oriente, 4.204 Mb/d,

- 11.1 % provinieron de países de Asia del Pacífico,
- y el restante de diversos países.

Japón parece haber hecho caso omiso de esta tesis del alto riesgo en la dependencia del petróleo del Medio Oriente. Es el país más dependiente del petróleo del Medio Oriente en el mundo.

Europa en su conjunto importa una cantidad similar a la de Estados Unidos. En 2003 importó 11 millones 993 mil barriles por día (11.993 Mb/d), equivalentes a 592.9 millones de toneladas en el año, que representaron el 26.2% de las exportaciones mundiales. Sus importaciones provinieron:

- 41.2 % de la ex-Unión Soviética,
- 25.9 % del Medio Oriente,
- 15.3 % del Norte de África —Nigeria, Libia, Argelia y Egipto principalmente—,
- 6% de África Occidental —Angola, Gabón, Camerún y el Congo principalmente—
- y el resto de diversos países entre otros México (1.5%), Venezuela y el propio Estados Unidos.

Los principales consumidores del mundo, notablemente Estados Unidos, Europa, Japón, etc. están expuestos a los eventuales efectos de la volatilidad política y económica del Medio Oriente, que en el 2003 produjo el 29.6 % de la producción mundial de petróleo.

Paulatinamente África está emergiendo como proveedor Mundial. En el 2003 aportaba ya el 13.9 % de las exportaciones mundiales. El éxito más impresionante los últimos años lo representa Angola y Nueva Guinea, cuya producción en 1990 era prácticamente cero. Actualmente la producción tanto del uno como del otro es del mismo orden que el Congo y Gabón. Estados Unidos considera al golfo de Guinea una zona estratégica, entre otras cosas porque su petróleo es ligero, porque está más cerca que el de Arabia Saudita, y sobre todo porque es factible obtener acuerdos de explotación muy favorables.

II.5 La estrategia de los Estados Unidos

Desde 1949 Estados Unidos se convirtió en un importador neto; esto es, sus importaciones superaron las exportaciones.

Entre 1978 y 1985 sus importaciones bajaron en un 16 %, resultado de la conjugación de tres factores: el desarrollo del campo gigante de Prudhoe Bay en Alaska, el segundo choque petrolero de 1979 y a la recesión económica de ese momento.

A partir de 1985 la proporción de las importaciones no ha cesado de aumentar. Paralelamente las zonas petroleras históricas han entrado en una fase de declinación, algunas de ellas irreversibles. La producción de Estados Unidos ha

bajado a un ritmo promedio cercano al 2 % por año desde 1990. Las importaciones han aumentado 5 % en promedio por año.

Uno de los aspectos centrales de las estrategias, en materia de energía, es la regulación del precio del petróleo. En los Estados Unidos los políticos dicen temer, permanentemente, que los precios sean demasiado altos, y por ende que la gente y las compañías les pueden retirar su voto. El Congreso es muy sensible a todo hecho—incluido cualquier tipo de rumor— que tenga relación con las industrias automotriz, petrolera y de transporte, a toda mención sobre costos de combustible, a iniciativas de construcción de carros más eficientes, planes que pretendan aumentar sus márgenes de ganancia. Para mantener precios bajos, es fundamental que la oferta no se reduzca. De acuerdo al Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), la reducción en la producción de un millón de barriles por día debe causar un aumento en el precio de entre 3 y 5 dólares por barril.

La Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo (OECD) en el 2003 estimaba que un aumento de 10 dólares en el precio de un barril de petróleo traería como consecuencia una reducción de 0.2 % del crecimiento económico de los Estados Unidos y un aumento general en los precios de 0.4 %. Los efectos directos para los Estados Unidos en realidad son insignificantes; sin embargo se teme siempre sobre los efectos psicológico-sociales derivados. Se extreman previsiones, para evitar reacciones sociales, pero hay suficientes elementos para pensar que se tiene bien calculada la psicología social.

Para Estados Unidos, pareciera que todo se reduce a cuánta energía utilizan los americanos y cuándo prevén pagar.

Por ello interesa la situación política y militar en el Medio Oriente. Por ello interesan estrategias infalibles para evitar fluctuaciones en los precios, o para justificar ante la opinión pública tales fluctuaciones. Un eventual embargo de petróleo puede traer consecuencias desastrosas no sólo para Estados Unidos, sino para el mundo entero.

Estados Unidos tiene un amortiguador a corto plazo contra bloqueos o rompimientos en el mercado. Ésta es la función de la Reserva Estratégica de Petróleo, (SPR de sus siglas en inglés) creada en 1977 bajo la llamada Acta de Producción y Conservación de Energía, y cuya utilización depende de la decisión exclusiva del presidente en caso de crisis energética.

Durante cinco años la SPR sólo tuvo un carácter virtual, aparentemente por falta de decisión política, recuérdese que era época de precios altos. Fue hasta tiempos de Ronald Reagan que se hizo efectiva. Él hizo de la reserva estratégica una prioridad en materia de política petrolera. A finales de su primer mandato hizo almacenar 450 millones de barriles (Mb), a fines de 1988 el nivel ascendió a 560 Mb. A principios del 2000 la reserva estratégica ascendía a 570 Mb que correspondía a 90 días de consumo americano.

La SPR ha sido usada durante la guerra del Golfo de 1991, y en invierno del 2000, cuando el entonces presidente Bill Clinton liberó 30 Mb para sofocar la elevación de precios promovida por la OPEP, en un intento por atraer al electorado a favor del candidato presidencial demócrata Al Gore.

En Estados Unidos los especialistas en el análisis del mercado de la energía, preveían que entre el año 2002 y el 2020 la participación de los combustible fósiles —petróleo, carbón y gas natural— pasaría de 86 % a 88 %, esto implicaría necesariamente que la participación del Golfo en el suministro de petróleo se expandiría tanto en Norte América como en Europa. También consideraban que se acabarían las regiones más estables del mundo.

Una crisis en uno o varios de los países claves productores de energía es altamente probable en cualquier momento en los próximos 20 años. El 50% del abasto mundial provendrá de países con alto riesgo de inestabilidad política. Naciones como Irán, Irak y Libia —hoy enemigos de Estados Unidos— jugarán un papel cada vez más importante. Lo que implica la eventual necesidad de un ajuste en la política exterior de los Estados Unidos.

De cualquier manera 20 años delineando estrategias en materia petrolera, en busca de reducir la dependencia petrolera, ponen en evidencia que no existe hoy en día alternativa segura para resolver el problema del aprovisionamiento de petróleo en los países industrializados.

II.6 Las nuevas *majors* y su ubicación en la escala mundial

Hasta los años 1973 las actividades petroleras, desde el pozo hasta la bomba, eran controladas prácticamente de manera total por the majors o the seven sisters: Exxo, Shell, Mobil, BP, Texaco, Gulf y Chevron. Estas, de común acuerdo exploraban, producían transportaban el petróleo desde los pozos hasta las refinerías, lo procesaban y distribuían los productos petroleros, a lo largo y ancho del mundo.

Desde entonces, el número de empresas ha aumentado considerablemente y han aparecido un sinnúmero de compañías de diferentes tallas. Lo que cambió fue la dinámica del mercado. Ha emergido un mercado financiero, asociado al petróleo, que posibilita las ventas a plazos y los instrumentos de cobertura de riesgos. Las transacciones petroleras llegan a ser hasta diez veces el equivalente del petróleo disponible en el mercado.

Bajo la nueva dinámica del mercado y su conjugación con los instrumentos financieros se han desarrollado grandes consorcios, que dominan las actividades petroleras a todos los niveles. Varias de esas compañías son descendientes de las majors. Las más grandes ocupan los primeros sitios entre las empresas más exitosas a escala mundial. A menudo se les denomina las nuevas majors o simplemente las majors —como antes—.

Forbes 2000 es una publicación que publica la clasificación anual de las primeras 2000 compañías privadas más importantes del mundo. Las ubica tomando en cuenta una conjugación de datos de las empresas: ventas, ganancias netas, activos fijos y valor mercantil.

Las primeras 20 compañías son: 1. el grupo financiero Citigroup, 2. General Electric, que se dedica a múltiples actividades industriales, entre otros la

construcción de centrales nucleares, 3. American Intl Group, una compañía de seguros; le siguen dos compañías petroleras 4. ExxonMobil y 5. British Petroleum (BP); luego aparecen dos instituciones bancarias 6. Bank of America y 7. HSBC Group; les sigue 8. Toyota Motor, 9. la empresa financiera Fannie Mae, 10. Wal-Mart Stores, 11. UBS, una compañía financiera Suiza, 12. ING Group, una compañía financiera Holandesa, 13. Royal Dutch/Shell Group, compañía petrolera, 14. Berkshire Hathaway, Compañía de seguros americana, 15. JP Morgan Chase, compañía bancaria americana, 16. IBM, 17. Total, compañía petrolera francesa, 18. BNP Paribas, grupo bancario francés, 19. Royal Bank of Scotland y 20. Freddie Mac, grupo financiero americano.

Entre estas veinte compañías: diez se dedica a las actividades bancarias y financieras; cuatro son consorcios petroleros, dos son compañías de seguros; y se intercalan el consorcio industrial General Electric, Toyota primer consorcios industrial japonés, la cadena mundial de supermercados Wal-Mart y el grupo IBM.

Entre 10% y 20% de las ventas de las primeras compañías bancarias y financieras se traduce en beneficios, pero este no es el caso de todas las compañías financieras.

La Tabla 4 contiene el orden jerárquico de las primeras 22 compañías petroleras y su ubicación en el ranking mundial en el 2004, de acuerdo a la lista de Forbes.

Para las primeras 20 compañías petroleras, en promedio el 8% de las ventas, se traduce en beneficio.

Las antiguas siete majors fueron reagrupadas en cuatro nuevas majors:

1. Exxon-Mobil el consorcio petrolero más poderoso del mundo, tuvo su origen en el desmantelamiento del Trust de Rockefeller. Exxo tuvo su origen en la Standard Oil of New Jersey —SO al principio, después Esso (fonéticamente SO) y finalmente Exxo en 1972; Mobil tuvo su origen en la Standard Oil of New York;
2. Royal Dutch-Shell en esencia fue integrada por Deterding, en 1907;
3. British Petroleum (BP), tuvo su origen en la compañía Anglo-Iranian Company, fundada por Winston Churchill, en 1914, al comprar el 51% de la Anglo Persian Company; en 1954 se transformó en British Petroleum, operó durante décadas de manera independiente; la asociación, con Amoco y Arco no parece ser una fusión real. En los hechos los datos financieros hacen referencia exclusiva al BP; Amoco tuvo su origen en la Standard Oil of Ohio surgida con la ley antitrust de 1911, Arco surgió de Atlantic;
4. Chevron-Texaco: Chevron proviene de la Standard Oil of California, surgida con la ley antitrust en 1911. En 1984 compró la Gulf Oil Company, una de las siete hermanas de antes del embargo; Texaco surgió de la Texas Oil Company.

Entre las nuevas majors, cinco consorcios, considerados la supermajors, dominan la escena del petróleo. Ellas son Exxon-Mobil, Royal Dutch-Shell, British Petroleum, Total-Fina-Elf y Chevron-Texaco. En el 2004 estas cinco supermajors

concentraron el 66% de las ventas y el 59 % de los beneficios de las 20 primeras compañías petroleras.

Sorprende en cuarta posición la ubicación del consorcio franco-belga Total-Fina-Elf, (o simplemente Total). En 1995 Total era la 13ª compañía a nivel mundial. Sus antecesores actuaban en forma independiente paralelamente a las antiguas majors. No formaban parte del grupo de las siete, no inquietaban a las majors porque no se destacaban propiamente como grandes compañías.

Tabla 4 Clasificación de las primeras 20 compañías petroleras en el 2004						
	Compañía	país	Ventas (B\$)	Beneficios (B\$)	Valor Mercantil (B\$)	Ranking mundial
1	ExxonMobil	Estados Unidos	222.88	20.96	277.02	4
2	BP	Gran Bretaña	232.57	10.27	173.54	5
3	Royal Dutch/Shell Group	Gran Bretaña -Holanda	133.5	8.4	163.45	13
4	Total	Francia	131.64	8.84	116.64	17
5	ChevronTexaco	Estados Unidos	112.94	7.43	92.49	23
6	ENI	Italia	53.29	4.82	76.13	37
7	ConocoPhillips	Estados Unidos	90.49	4.83	46.72	38
8	PetroChina	China	29.53	5.67	90.49	55
9	China Petroleum & Chemical	China	39.16	1.94	50.09	81
10	Gazprom	Rusia	19.21	3.81	36.28	87
11	Repsol-YPF	España	29.14	2.05	26.22	109
12	Statoil Group	Noruega	35.02	2.36	23.55	117
13	Petrobras-Petrleo Brasil	Brasil	22.61	2.29	35.52	127
14	Yukos	Rusia	10.86	3.04	39.81	213
15	Marathon Oil	Estados Unidos	36.68	1.32	10.39	214
16	Indian Oil	India	25.26	1.39	12.93	243
17	Schlumberger	Holanda	13.89	0.38	37.49	264
18	Occidental Petroleum	Estados Unidos	8.94	1.54	17.22	265
19	Oil & Natural Gas	India	7.01	2.20	23.26	273
20	Fortum	Finlandia	14.33	0.97	8.78	282

Fuente: <http://www.forbes.com/lists/results.jhtml>, (08/01/2004).

Total nació de la Compagnie Française des Petroles fundada en 1924. Elf (Essence et lubrifiants française) se fundó en 1960 resultado de la función de varias compañías francesas que descubrieron petróleo en las antiguas colonias francesas y detentaban explotaciones en Argelia, Túnez, Gabón, Camerún y el Congo. En 1990 Total y Elf se privatizan y se fusionan y en 1999 integran a la compañía belga Petrofina o simplemente Fina.

Las ventas totales del conjunto de las 2,000 empresas listadas por Forbes, ascendieron a 19 billones de dólares, los beneficios a 760 mil millones de dólares. Comparando estos datos con los de las compañías petroleras, tan sólo las ventas totales de las primeras 20 compañías petroleras representan el 6.7 % del las ventas totales de las 2,000 compañías; y los beneficios de las mismas representan el 12.4 % de los beneficios del conjunto de compañías de la lista de Forbes. Esto da relevancia a la rentabilidad de las empresas petroleras.

Se sabe que Saudi Aramco es la compañía que produce más petróleo, pero no se conocen, sus datos financieros y no aparece en la lista de Forbes,

seguramente porque ésta incluye sólo empresas privadas. Saudi Aramco es propiedad estatal al 100%. En condiciones similares están NIOC de Irán, PEMEX de México y PDVSA de Venezuela.

De acuerdo a Petroleum Intelligence Weekly, en el 2002 PDV estaba estimada en 41 mil 100 millones de dólares y registraba beneficios por 2 mil 500 millones de dólares, NIOC tenía un valor mercantil de 21 mil 100 millones de dólares y beneficios por 4 mil 300 millones y PEMEX tenía un valor mercantil equivalente 47 mil millones de dólares, sin embargo en lugar de registrar beneficios registra pérdidas del orden de 3 mil millones de dólares.

Las nuevas majors, a diferencia de las antiguas, en efecto no actúan como Cartel, pero utilizan los mismos recursos. Practican la integración vertical: exploran, producen, transportan, refinan petróleo, distribuyen y venden sus productos, con su propia marca. Están asociados con grandes grupos financieros, sociedades de ingeniería, de servicios, de construcción de equipo, y de distribución. Utilizan instrumentos financieros: transacciones a futuro, instrumentos de cobertura de riesgos; se tratan sobre el mercado financiero ordinariamente volúmenes de petróleo diez veces superior a la producción física.

II.7 Ubicación de México en el mercado petrolero

En el 2003, México, con el 2.6% de las reservas probadas de petróleo, ocupaba el trigésimo lugar en la jerarquía de las reservas mundial (Tabla 1). Era el 5º productor en el mundo (Tabla 2) y el 7º exportador (Tabla 3).

Su papel en el mercado mundial, aunque es y ha sido importante nunca ha sido protagónico.

Los volúmenes de exportación tan sólo son del orden del 4.3 % del mercado mundial. Aunque ha sido uno de los grandes productores —el 5º— su papel no ha sido el de un gran país exportador. Su consumo interno es muy elevado. Un país estrictamente petrolero tiene un consumo interno mucho menor que el de México. Arabia Saudita consume el 15 % de su producción, Irán el 30 %, Emiratos Árabes 12 %, Irak 9 %, Noruega el 6.5 %. Por su parte México consume el 49 % de su producción, lo que significa que no es un país estrictamente petrolero.

Las exportaciones del Medio Oriente están sometidas a grandes presiones políticas. Si se toma en cuenta la porción de sus exportaciones se puede evidenciar que el Medio Oriente —bajo la iniciativa de la OPEP— ha jugado un papel de moderador del mercado. En 1998, año en que tocó fondo el precio del petróleo, el Medio Oriente redujo sus exportaciones en 460 mil b/d. Sin embargo la Federación Rusa, prácticamente hasta el 2003 venía jugando un papel en el sentido contrario, aumentó sus exportaciones año con año en promedio 250 mil b/d.

La recuperación del precio se debió en esencia al Medio Oriente a partir de 1999. México participó de manera significativa en la reducción de las exportaciones. Los últimos tres años del gobierno del presidente Ernesto Zedillo los volúmenes de

exportación de petróleo de México descendieron ligeramente. En 1997 ascendieron a 1,777, en 1998 a 1,770 y en 1999 a 1,739.

Sin embargo, en el 2000 México aumentó sus exportaciones en 105 mil b/d y en el 2001 en 87 mil b/d. Lo que etiqueta la tendencia en materia de exportaciones del gobierno de presidente Vicente Fox.

En el 2001 las exportaciones mundiales de petróleo aumentaron de 42 millones 402 mil b/d a 43 millones 754 mil b/d; es decir aumentaron 352 mil b/d, que representan un 1.7 %. La Federación Rusa aumentó sus exportaciones en 341 mil b/d, el Medio Oriente en 102 mil b/d y México en 68 mil b/d. El aumento en las exportaciones de la Federación Rusa representó dos terceras partes del aumento de todo el Medio Oriente.

Tómese en cuenta que en el 2001 el Medio Oriente —que incluye a 5 de los 10 más grandes países exportadores de petróleo y que exporta 50 % del petróleo crudo del mundo aumentó sus exportaciones tan sólo en 102 mil b/d. Así que México aumenta sus exportaciones en cantidades muy cercanas en (68 mil b/d). Evidentemente gravitan las relaciones del nuevo gobierno con los Estados Unidos.

Ciertamente México no ha sido el principal contribuyente de la saturación del mercado petrolero, pero su papel no es totalmente inocuo.

En el 2001 Los volúmenes de producción petrolera de México ascendieron a 173.6 Mt, lo que corresponde a un promedio de 3 millones 560 mil barriles por día; 3.1 % más que en el 2000.

En el 2001 las exportaciones de México aumentaron 4.8 % para situarse en 1 millón 882 mil barriles por día. El 97 % de las exportaciones comprende petróleo crudo, el 3 % restante comprende productos petroquímicos.

El principal comprador fue Estados Unidos al cual México le vendió 1 millón 424 mil barriles por día, es decir el 75.7 % de las exportaciones.

En el 2002 las exportaciones ascendieron a 1 millón 966 mil b/d; es decir aumentaron 114 mil b/d, lo que representó un aumento del 4.5 %.

Lo deseable para los países petroleros debería ser que el precio del petróleo se mantenga razonablemente elevado, para mantener ingresos por las ventas elevados. En el caso de México, con datos del 2002 si las exportaciones ascienden a 1 millón 966 mil barriles por día, es elemental visualizar que la disminución de cada dólar significa una pérdida por día de 1 millón 966 mil dólares y de 708 millones de dólares por año.

Aumentar las cuotas de exportación conduce a la baja de precios y eso es lo que México ha hecho en reiteradas ocasiones. La política petrolera de México a menudo parece estar orientada en sentido contrario a lo que debiera ser el interés mexicano.

Prácticamente sin excepción, los países petroleros están atrapados en una espiral recesiva. Las exportaciones de petróleo, significan una de las fuentes de divisas más importantes. En el afán de captar más ingresos para atender los compromisos financieros y entre otros el pago de intereses de la deuda esos países se recurren a aumentar las cuotas de exportación. Pero el aumentar contribuye a la saturación del mercado y en consecuencia al descenso en los precios.

La crisis financiera de México de 1995 se dio tras dos años de precios de petróleo relativamente bajos (del orden de 14 dólares el barril). En el afán de enfrentar los compromisos financieros el Gobierno decidió aumentar las exportación, en alrededor de 200 mil barriles por día. En 1996 se aumenta otros 120 mil b/d adicionales. En 1995 los precios fueron del orden de 16 dólares el barril y en 1996 del orden de 18 dólares, con lo que la situación financiera de México mejoró un poco.

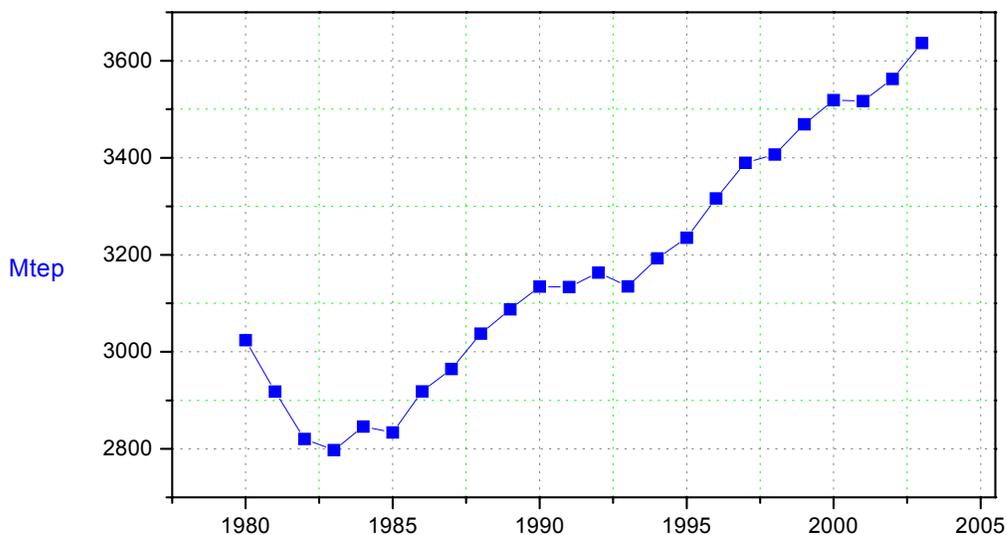
Pero luego vino la saturación del mercado y con eso el precio del barril tocó fondo.

Todo esto indica, que si bien México no es un país estrictamente petrolero, su economía depende de manera importante del precio del petrolero; a su vez pone en evidencia que el talón de Aquiles es su condición de país deudor.

II.8 Relación entre la oferta mundial y el precio del petróleo

Con excepción del periodo 1980-1983, y los titubeos de 1985, 1991, 1993 y 2001 el consumo mundial de petróleo no ha dejado de aumentar (Figura 7).

Figura 7.- Consumo Mundial de Petróleo (1980-2003)



Elaborada con datos de: BP Statistical review of world energy, (1990-2004).

La elevación de los precios derivada del segundo choque petrolero, trajo como consecuencia una disminución en el consumo de 10% entre 1980 y 1983. La ruta ascendente en el consumo mundial se recuperó con la caída de los precios

resultado del contra choque petrolero entre 1984 y 1986. El siguiente titubeo es resultado de la guerra del Golfo en 1991. El del 2001 es resultado de los atentados a la Torres Gemelas.

Los datos entre 1993 y el 2003 muestran, que aunque el consumo mundial de petróleo aumentó, su participación disminuyó. En 1993 el consumo mundial ascendió a 3,139 millones de toneladas (Mt), en el 2003 a 3,636 Mt; esto implicó un aumento neto de 15.8 %. Sin embargo su participación disminuyó, en 1993 el petróleo representó el 40 % del consumo mundial de energía primaria, mientras que en el 2003, representó el 37.3 %.

Notablemente el carbón y el gas natural han asumido el relevo.

El consumo mundial del petróleo es sensible a los precios del petróleo. Sin embargo no existe una relación lineal entre ambos. Parte de la explicación radica en que no es posible sustituir al petróleo por otra fuente de energía, en la mayoría de sus usos.

Teóricamente la demanda mundial de petróleo debería tener una inercia derivada de las necesidades energéticas de las actividades productivas mundiales. Esto presupone que si las actividades productivas crecen, la demanda de energía aumenta. Anteriormente se ha mostrado, que la demanda ha sido estimulada por bajos precios, particularmente en los años 60.

Frente a las fluctuaciones a la alza en el precio del petróleo, algunos ramos industriales recurren a otras fuentes de energía. Sin embargo, el consumo mundial global continúa en ascenso. Y en efecto, cuando el consumo de una fuente de energía disminuye, necesariamente implica que otra fuente de energía debe compensar esa disminución.

En 2001 el precio del barril de petróleo fue relativamente elevado, del orden de 24.5 dólares; el consumo de petróleo ascendió a 3,517 Mt lo que representaba el 38.5 % del consumo anual de energía primaria. En el 2002 el precio rebasó los 25 dólares, el consumo anual fue de 3,522 Mt que representó el 37.4 % de la energía primaria. Es decir, el consumo permaneció prácticamente constante, mientras que su participación disminuyó. No obstante, en ese mismo año el consumo de energía primaria, aumentó 2.6 %, pasando de 9,135 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) a 9,405 Mtep. Justamente, el crecimiento fue absorbido por el carbono y el gas natural.

La demanda mundial de petróleo es sensible al precio pero no puede reaccionar en forma instantánea. La dificultad estriba en que la planta industrial y las actividades productivas normalmente no están previstas para operar con diferentes combustibles o cambiar de combustibles al ritmo del mercado.

Evidentemente es más fácil delinear estrategias para controlar el precio de los energéticos que flexibilizar o re-adaptar la planta industrial para cambiar de combustible en función de los precios del mercado.

Si, la disminución de un millones de barriles por día produce un aumento en el precio de entre 3 y 5 dólares por barril (§ II.5), esto podría tomarse como una formula a seguir para los países petroleros. Teóricamente los países productores podrían estar regulando el precio del petróleo tan sólo con controlar la producción.

Pero ciertamente, los países productores, no son los únicos ni los principales actores en el mercado:

- el comportamiento de los países petroleros está fuertemente condicionado por los compromisos financieros, políticos y militares que han adquirido con los países importadores; por otra parte,
- los principales actores del mercado petrolero tienen intereses diferenciados y emprenden políticas diversas, donde la resultante de las fuerzas concurrentes del mercado no es fácilmente predecible.

Evidentemente, el mercado petrolero es mucho más complejo de lo que se podía esperar.

A fines de 1978, principios de 1979 el precio del petróleo se situaba en alrededor de 14 dólares por barril; a fines de 1980 el precio llegó a estar cercano a los 40 dólares (Figura 2). En correspondencia el mercado se contrajo apreciablemente, logrando de 1980 a 1983 una disminución del orden de 10 % (Figura 7); disminución colosal a la escala mundial, que de ninguna manera corresponde en forma lineal con el 285 % de aumento en los precios.

La demanda tiene capacidad de cierta flexibilidad o capacidad de adaptación. Evidentemente esta adaptación no es tan elástica como se quisiera. La demanda es sensible al precio, pero con una cierta letargia variable en tiempo. Un precio elevado induce una baja en el consumo que tiene efectos moderados.

En 1998, el precio del petróleo fue el más bajo desde 1977, el precio promedio fue alrededor de 13 dólares el barril. En el 99 los países productores de petróleo logran contraer la producción mundial de petróleo en alrededor de 2 %, con lo cual el precio se recuperó alcanzando un promedio en el año entre 17 y 18 dólares.

En 1999 se registró un aumento en la producción del orden de 2.7 %; a pesar de eso, en el 2000 el precio promedio fue del orden de 28 dólares, el consumo creció 1.1 %, seguramente como consecuencia de un precio moderado en el transcurso de año anterior.

En el 2001 el consumo mundial de energía primaria prácticamente se mantuvo constante, aumento 0.3 %. El consumo mundial de petróleo —con un precio promedio de 24 dólares por barril— disminuyó 0.2 %. El comportamiento de este año, se debió fundamentalmente a los atentados a las Torres Gemelas.

La fuente de energía que de relevo, permitió sustituir al petróleo y elevar la producción esencialmente fue el carbón.

La relación entre precio y demanda no es sistemática. En 1979 el precio pasó de 14 a 30 dólares, es decir se multiplicó 2.1 veces. En el 2000 pasó de 18 a 28 dólares el barril, es decir se multiplicó 1.6. Si la contracción de la demanda entre el 80 y el 83 fue del orden de 10 % y se conservara esa tendencia en el 2000, debía haber una contracción del orden del 5.6 %. Sin embargo, la disminución fue apenas del 0.2 %, lo que significa que los mecanismos de contención tanto del precio como de la demanda no observan una relación lineal.

Bibliografía de Referencia

1. BP Statistical Review, (June 2004).
2. Ch. Dubow, *The Cost of Oil*, Forbes, (Jan. 7 2002).
3. Aymeric Chauprade, *Introduction à l'analyse géopolitique*, Ed. Ellipses, (1999).
4. Forbes 2000, <http://www.forbes.com/lists/results.jhtml>, [on line], (08/01/2004).
5. http://www.opec.org/About_OPEC/History.com, on line (24/05/2002).
6. J. P. Tuquoi, *La bataille des hydrocarbures*, Le Monde, (29/06/2002).
7. Joël Maurice, *Prix du Pétrole*, La documentation française (2001).
8. *Le pétrole: ordre ou desordre mondial*, Questions Internationales, No. 2 (juillet-août 2003).
9. *Oil Price History and Analysis*, Energy Economics Newslettere, <http://www.wtrg.com/prices.html>, [on line] (24/05/2002).
10. Petroleum Intelligence Weekly, (15/12/03).

III. Desafíos en materia de energía

III.1 Lecciones del petróleo en el 2004

El petróleo juega un papel determinante en la economía y muchos acontecimientos a nivel mundial. Particularmente el 2004 fue un año muy marcado por el petróleo. El precio del barril de petróleo alcanzó niveles que no se habían repetido desde el segundo choque petrolero. En el mes de octubre se impusieron nuevos records en los precios, que impactaron en gran medida la economía de las grandes potencias. Los países importadores de petróleo tuvieron que pagar del orden de 35 % más en petróleo respecto al 2003.

Ya en el 2003, era inminente una tendencia ascendente en el precio del barril. Inició el año en 29 dólares y para los primeros de marzo alcanzaba ya los 34 dólares (§ III.2, fig. 5).

En febrero del 2003, The West Texas Research Group, planteaba una situación de alerta, diciendo que todos los signos de las crisis petroleras de 1973 y de 1979, existían en ese momento⁸. Ciertamente la crisis no llegó a ser del orden de los dos primeros choques petroleros, lo cierto es que había ya signos que presagiaban la crisis que vendría un año más tarde.

Empero, la tendencia ascendente en el precio del petróleo fue interrumpida abruptamente por el estallamiento de la guerra de Irak, el 19 de marzo del 2003, bajando de 34 a 24 dólares el barril, en poco menos de una semana. El precio promedio del año fue del orden de 29 dólares. La guerra ocultó, ante la opinión publica, las evidencias de una tendencia ascendente el precio.

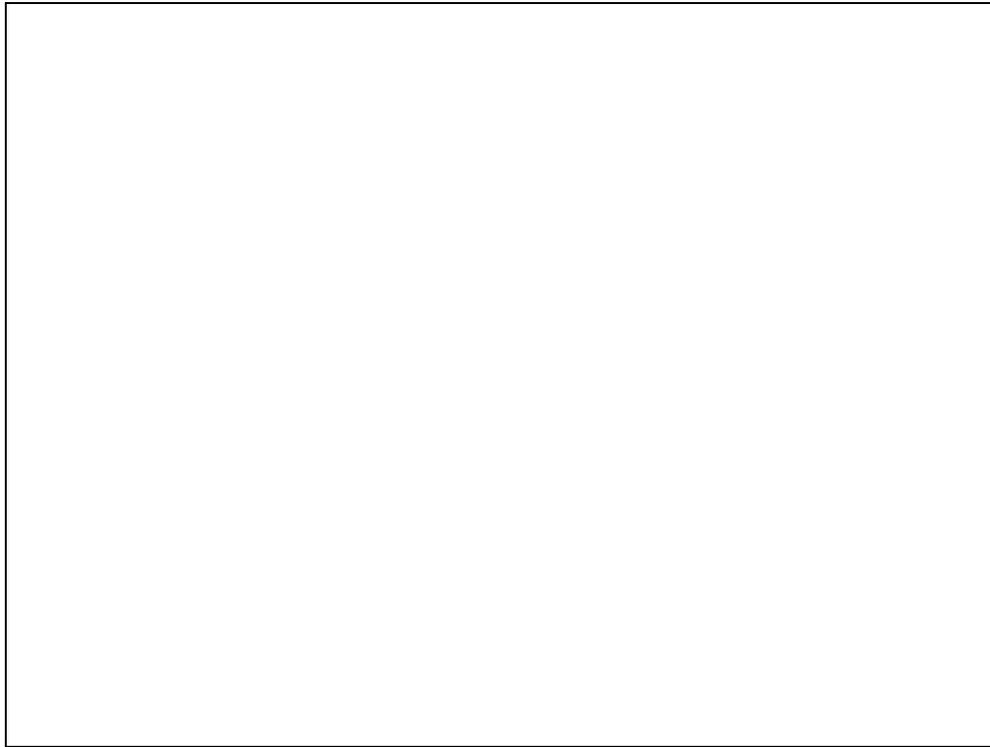
El 2004 fue crucial para la mayoría de los petróleos de referencia; el precio del barril de petróleo inició en alrededor de los 32 dólares. Pero, conforme avanzó el año (Figura 1) la escalada en los precios se tornó inquietante.

En el mes de octubre, semanas antes de la elección presidencial de los Estados Unidos en la que George W. Bush obtuviera la reelección (3 de noviembre 2004), los record en el precio se rompían día tras día. El 18 del octubre el barril rompió la barrera de los 55 dólares.

En Estados Unidos la elevación en el precio se conjugó con el aumento en el déficit mercantil. El mes de julio aumentó 6.9 %, de tal forma que en agosto el déficit acumulado fue de 54.1 mil millones de dólares. El déficit se debió a las importaciones de petróleo —a precios mucho más altos de lo esperado—, a las importaciones chinas y a la importación de automóviles y partes. El total de importaciones ascendió a 150 mil 100 millones de dólares, mientras que las exportaciones a 67 mil 400 millones. La diferencia es justamente los 54 mil 100 millones.

⁸James L. Williams, A. F. Alhajji, The coming energy crises, submitted to Oil and Gas Journal (February 3, 2003).

Figura 1.- Variación del Precio del petróleo WTI del 1 de abril 2004 al 26 de abril 2005



Fuente: <http://www.wtrg.com/daily/oilandgasspot.html#Brent>, [on line], (28/04/05).

Entre enero y octubre el precio del petróleo experimentó un 70 % de aumento, que no fue previsto por los analistas de Wall Street. Se señaló entonces al petróleo como una de las causas principales del déficit.

El presidente de la Reserva Federal, Alan Greenspan, empeñado en minimizar las cosas, explicó que en realidad esos precios ya se habían tenido en los 80's durante el segundo choque petrolero —cosa que es cierto si se traslada a valor presente los precios de aquel momento—. Señaló también que en este momento tal elevación no era causa de inflación en la proporción que lo fue en los 80's o durante el embargo petrolero; y que a pesar de que el aumento en el precio del petróleo era muy grande, el incremento en las importaciones representaba tan sólo el 0.75 % del PNB, lo que era del orden de un aumento de impuestos.

Para el PNB de los estados Unidos, que en el 2004 fue del orden de 11.7 billones de dólares, el 0.75 % significan 87 mil 700 millones de dólares. Greenspan hacía ver esta cantidad como algo manejable. En realidad no era nada despreciable, puesto que era del orden de la mitad de la deuda externa de Argentina —la segunda deuda en Latinoamérica, después de la de Brasil y antes de la de México—. Pero en efecto para una potencia económica como lo es Estados Unidos en realidad no es totalmente catastrófico. Sin embargo no dejaba de tener un impacto económico.

Por su parte, en Europa, el 2 de diciembre 2004, el euro impuso un record histórico frente al dólar (1.3384 \$/€). Apoyada en un euro sobrevaluado la Unión Europea soportó de mejor manera la elevación de los precios de petróleo. Pero aun así registró un crecimiento económico muy reducido, del orden de 1.8 %; mientras que Estados Unidos creció 4.4 %, Japón 4 %, Gran Bretaña 3.2 %.

III. 2 Factores de inducción de la crisis del petróleo del 2004

Dependencia estacionaria de la demanda

La demanda de petróleo varía con las estaciones del año, a esto se le conoce como dependencia estacionaria. Un invierno muy extremo demanda mayor cantidad de combustible para calefacción (fuel oil). El verano por su parte demanda mayor combustible para el transporte (gasolinas y keroseno), justamente por el movimiento de vacacionistas.

En 2004 se había anunciado un invierno relativamente extremo, la demanda iba en aumento. En Estados Unidos y varios países europeos no había suficiente combustible almacenado para garantizar la calefacción del invierno. Los meses pico de aprovisionamiento normalmente no fueron suficientemente abastecidos —junio y julio— en parte por los altos precios.

El huracán Iván, que golpeó fuertemente las costas del Golfo de México en el mes de septiembre, inhabilitó un buen número de las plataformas marítimas del golfo de México, lo que trajo como consecuencia una reducción en un 20 % de la producción petrolera de esa zona. A mediados de octubre sólo se había podido restablecer la mitad de la producción faltante. En tales circunstancias era explicable que los precios llegaran hasta los 55 dólares.

Se sabe que fenómenos climáticos, como los huracanes y tempestades marítimas, son factores de riesgo en la producción de petróleo, porque pueden afectar la producción en las plataformas marinas disminuyendo el petróleo disponible en el mercado. Pero nunca antes los huracanes habían hecho tanto estrago, o nunca antes habían coincidido con problemas de abasto. En el 2004 se puso en evidencia la vulnerabilidad del mercado del petróleo ante los efectos climáticos.

La capacidad mundial de producción

Arabia Saudita, durante décadas, en momentos de baja producción, había jugado el papel de seguridad en el aprovisionamiento de petróleo. En el 2004 no fue

así y no por falta de voluntad política, sino de capacidad. Las relaciones políticas, establecidas desde 1945, entre Estados Unidos y la familia real de Arabia Saudita, no han sufrido contratiempos, por el contrario. Sin embargo, el problema real fue, que Arabia Saudita utilizaba ya prácticamente el total de su capacidad de producción de petróleo y no tenía reservas de capacidad disponibles.

Esta situación no es nueva; desde el año 2000, la extracción de petróleo mundial trabajaba al 97.5 % de su capacidad. Sólo dos países tenían cierta capacidad excedente: Arabia Saudita que tenía una capacidad adicional de 1.57 Mb/d y Emiratos Árabes con una capacidad apenas significativa de 0.11 Mb/d.

En el 2003 la producción de Arabia Saudita aumentó de 8.664 Mb/d a 9.817 Mb/d, mientras que su capacidad de producción era del orden de 10.5 MB/d. Esto quiere decir que estuvo produciendo al 93 % de su capacidad. Su papel como válvula de seguridad en el abastecimiento mundial de petróleo llegaba a su límite, y no había ningún otro país que pudiera jugar ese papel.

En el 2004 la demanda de petróleo alcanzó a la capacidad de producción mundial. El crecimiento en la demanda de los últimos cuatro años, conjugado con la inestabilidad en Irak, y el poco éxito en la ampliación de las reservas de petróleo, llevaron al agotamiento del excedente de la capacidad de producción existente unos años antes.

Y no es que no se haya podido prever esta situación. Las inversiones mundiales en exploración, hasta 1997, si bien no habían sido constantes habían sido importantes. Parte del problema fue que las exploraciones no habían tenido el éxito esperado.

En 1997 las inversiones en materia de exploración fueron del orden de 47 mil millones de dólares. En 1998, año en que el precio del petróleo estuvo entre 10 y 12 dólares, hubo una reducción del orden del 40 %. Los precios tan bajos pudieron haberse interpretado como que no era urgente seguir invirtiendo en exploración e infraestructura. Pero no fue sólo eso, con precios tan bajos, los beneficios de los países petroleros eran tan reducidos que no podía pensar en inversiones importantes.

Financiamiento en exploración y en capacidad de producción

Aparentemente, el problema fundamental relacionado con la capacidad de producción fue el financiamiento. Los costos de exploración y de ampliación de la capacidad de producción son muy elevados. Los países productores, en su mayoría inmersos en el problema de deuda externa, con un déficit comercial enorme y con un presupuesto estatal fuertemente dependiente de los ingresos petroleros, normalmente no tienen un margen de maniobra importante para ampliar su capacidad de producción.

Se puede conjeturar que ésta situación ha sido en gran medida inducida por las instituciones financieras, que buscan al petróleo como un espacio de inversión

importante. Está visto que el petróleo es uno de los negocios más rentables del mundo (§ II.6).

Los países petroleros están asfixiados financieramente por los compromisos adquiridos con las instituciones financieras y por compromisos políticos. Así también las instituciones financieras asociadas a las grandes compañías petroleras han buscado en forma permanente la apertura a las inversiones extranjeras en países productores donde la exclusividad del petróleo ha estado en manos del Estado, hasta ahora.

La capacidad de producción de petróleo está estrechamente relacionada con la capacidad de refinación mundial y con la capacidad de transporte y de almacenamiento. Comprende el enlace de un conjunto de etapas desde el pozo hasta el usuario: exploración, extracción, transporte mediante oleoductos hasta un puerto de envío, embarque en un barco petrolero, transporte marítimo, almacenamiento en el puerto de recepción, transporte mediante oleoductos a las refinerías, refinación y transporte y distribución de productos.

De acuerdo a Fred Lawrence, vicepresidente de The Independent Petroleum Association of America, los precios en el 2004 debieron estar entre 35 y 40 dólares. El problema fueron los desaciertos políticos "si se hubiera tenido capacidad de extraer una mayor cantidad de petróleo crudo, es dudoso que se hubiera tenido capacidad de convertirlo en gasolinas y fuel oil; puesto que Estados Unidos no ha construido ninguna nueva refinería en una década"⁹.

Para tener una idea del orden de magnitud de los costos en infraestructura petrolera¹⁰:

- Una plataforma de exploración semi-sumergible cuesta del orden de 150 a 200 millones de dólares; una plataforma auto-elevadora cuesta entre 60 y 120 millones;
- La perforación de un pozo en el mar, de 3500 m de profundidad con 150 m de profundidad de mar, puede costar de entre 5 y 15 millones de dólares; en mar profundo (500 m) puede costar 100 millones de dólares.
- Una plataforma de producción puede costar entre 40 y 150 millones de dólares;
- La puesta en operación de un campo petrolero puede costar entre 1500 y 2300 millones de dólares;
- Un barco petrolero con capacidad de 280 mil toneladas cuesta 85 millones de dólares;
- Una refinería con una capacidad de 8 millones de toneladas cuesta entre 1500 y 2500 millones de dólares.

Un campo petrolero necesita un mínimo de 6 u 8 pozos; en realidad no hay un número específico, éste depende de la naturaleza del yacimiento.

⁹ Kris Axtman, *Why the rude oil prices?*, csmonitor.com, (October 15,2004).

¹⁰ Xavier Boy de la Tour, *Le pétrole : Au-delà du mythe*, Ed. TECHNIP, Publications de l'Institut français du pétrole (2004), p.163.

Estados Unidos tiene del orden de 5,000 pozos, mientras que el Medio Oriente, que produce 3 veces más, tiene un poco más de 3,000 pozos.

Esto quiere decir que emprender la tarea de ampliar la capacidad de producción, no está al alcance de todo país petrolero.

¿Quién tiene capacidad financiera? Las majors y las instituciones financieras asociadas a ellas, ¿Por qué no han invertido para ampliar la capacidad de producción? Seguramente no consideraron que fuera el momento adecuado; en una época de precios tan altos, es preferible capitalizar y no de invertir. Se puede incluso conjeturar, dado que las majors fueron las primeras beneficiadas de los altos precios del petróleo, que pudieron haber sido ellas mismas las que provocaron la crisis del 2004.

Un año de precios altos, parecía haber oxigenado las finanzas de los principales países productores de petróleo. De ahí que la OPEP, el 16 de marzo del 2005 en la reunión de Ispahán (Iran), anunció estar en condición de aumentar su cuota de producción en 500 mil b/d. Arabia Saudita decía haber incrementado sus exportaciones en 250 mil b/d, un día antes de la reunión de Ispahán y estar en condiciones de un incremento similar en abril. Por su parte Kuwait ofreció un aumento de 120 mil b/d para el mes de abril.

La reunión de Ispahán tuvo un efecto inmediato, el precio del barril bajo de 56 a 50 dólares, pero no por mucho tiempo; el 5 de abril se imponía un nuevo record 57.27 dólares para el WTI (fig. 1). Con esto se puso en duda la veracidad del aumento en la capacidad de producción de la OPEP.

Perturbaciones políticas

Los problemas de aprovisionamiento, han sido recrudescidos por la inestabilidad en las zonas petrolera.

Nigeria, el primer productor de petróleo de África y el 11° exportador a nivel mundial, en el 2004 se agregó al conjunto de zonas petroleras tradicionalmente consideradas como de alto riesgo, justamente en octubre, momento en el cual la demanda de petróleo se acentúa. El 10 de octubre del 2004 estalló una huelga general, encabezada por el sindicato de trabajadores petroleros, en protesta por los altos precios de los combustibles. Se decía que tal huelga no afectaría la producción de petróleo, pero el sólo riesgo de paralización de parte de la producción petrolera es factor de nerviosismo en el mercado; más aún cuando, los líderes del sindicato petrolero habían anunciado paralización de la producción en caso de que hubiera arrestados.

Nigeria es un país en que el petróleo es el elemento central del rejeugo político y de las luchas por el poder. En 1993 el Estado fue confiscado por los militares, llegando al poder el general Abacha, quien instaló un régimen represivo. El petróleo nigeriano es explotado por la Shell —al estilo de antes—, tiene la concesión exclusiva y paga grandes cantidades de dinero al gobierno en calidad de royalties.

Pero la población no tiene ningún beneficio de los ingresos petroleros. La Shell ha sido señalada a nivel internacional como la compañía que sostiene en el poder a Abacha. El repudio a la Shell se deja ver con mayor frecuencia, con actos de ocupación de instalaciones petroleras, sabotaje de los oleoductos, etc. En Europa los defensores de los derechos humanos han llamado a boicotear la gasolina y los productos de la Shell.

Difícilmente Nigeria puede considerarse una zona estable a corto plazo.

Irak aparece como una zona permanente de alto riesgo de inestabilidad, los campos petroleros seguirán expuestos a los ataques y atentados, promovidos por los insurgentes. El mes de enero 2005 se producían en Irak 2 Mb/d —un nivel similar a la producción de antes de la guerra— de los cuales se exportaban 1.5 Mb/d. Al final de la guerra de Irak su producción había caído a alrededor de 1 millón 300 mil barriles por día.

El restablecimiento en la capacidad de producción de Irak ha sido rápido, pero no se puede considerar como zona completamente segura. El Primer Ministro interino de Irak Ayad Allawi declaró el 1 de enero del 2005, con motivo del sabotaje que sufriera un oleoducto, que tan sólo los ataques de los insurgentes a las instalaciones petroleras de los últimos cinco meses del 2004 implicaban costos de alrededor de 10 mil millones de dólares, cantidad equivalente a varios meses de exportaciones. Si bien, pudiera ser cierto que la capacidad tecnológica no representa un gran problema, la capacidad financiera o los compromisos financieros contraídos, pueden ser inalcanzables de un momento a otro.

Otro elemento de preocupación para el mercado fue la situación de la gigantesca empresa petrolera rusa Yukos, amenazada de ser intervenida por el Estado ruso a principios de octubre, reclamándosele el pago de 1,400 millones de dólares, correspondientes a una parte de los 4,100 millones de dólares que la empresa había acumulado por impuestos y multas desde el año 2001. El petróleo ruso ha sido objeto de manejos turbios.

Finalmente, al final del 2004 la empresa Yukos, que buscaba fraguar relaciones con Exxon Mobil, fue desmantelada y parcialmente nacionalizada. Los problemas de Yukos y la lenta recapitalización en el sector petrolero indujeron una ligera reducción en la producción petrolera rusa. Las inversiones necesarias fueron señaladas del orden de decenas de miles de millones de dólares. El Kremlin se ha mostrado reticente a abrir el sector energético a las inversiones extranjeras, con excepción de dos contratos firmados en el 2004, uno entre BP y la empresa rusa TNK y un proyecto, en alta mar con Exxon Mobil y Royal Dutch Sell, técnicamente fuera de la posibilidad de desarrollo por las compañías rusas. Todo parece indicar que Rusia dejara de inundar de petróleo el mercado, y que se intentará jugar un papel más estratégico, a pesar de los acercamientos diplomáticos emprendidos por Washington a través de Condoleezza Rice, Secretaria de Estado americano.

Otra zona de preocupación es Venezuela, donde no termina de desvanecerse los problemas políticos que han desencadenado múltiples manifestaciones y huelgas. Solamente Venezuela e Indonesia producen por debajo de la cuota asignada por la OPEP. Con la llegada de Chávez a la presidencia, la actitud de Venezuela al interior

de la OPEP fue más determinante. Mientras tanto, en el país, los conflictos parecen reproducirse; indudablemente la política en materia de petróleo es uno de los temas de conflicto y no se descarta la responsabilidad de las compañías petroleras en la inducción de los conflictos.

En conjunto, las perturbaciones políticas en las zonas petroleras son factor de nerviosismo en los actores del mercado, que intervienen de manera directa en el precio.

Como las condiciones mundiales no cambiarán apreciablemente en el 2005, todo parece indicar que la situación del mercado continuará bajo tensión y que el precio del petróleo oscilará entre los 50 y los 55 dólares en el mejor de los casos. En consecuencia, el mundo tendrá que ajustarse al petróleo que se pueda producir.

De hecho, el presidente de la Reserva Federal de Estados Unidos, Alan Greenspan, a principios de abril 2005, instaba a los norteamericanos a reducir el consumo en forma urgente.

III.3 ¿Son inagotables las reservas de petróleo?

Desde principios del siglo XIX surgió la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo. En ese tiempo no había aún una clasificación de las fuentes de energía y el concepto de fuentes no-renovables no formaba parte del lenguaje. La preocupación por el agotamiento del petróleo surgía al observar con cierta frecuencia la declinación o el agotamiento de algunos pozos petroleros.

La visualización del carácter no renovable de algunas fuentes de energía se generalizó después del embargo petrolero de 1973, logrando afianzarse de manera importante en la conciencia social. Pero, no ha sido determinante en la preservación de las reservas de energía. Existe una inercia en el consumo que se rige por el mercado y que hace caso omiso de la conciencia social.

Por múltiples razones, entre otras, el prever eventuales perturbaciones en el mercado y dar seguimiento de los yacimientos, es decir, cuestiones propiamente técnicas y económicas, surgieron los métodos de evaluación de los reservas de energía. Con ello surgen también las definiciones de reservas.

En el mundo de la energía, se consideran tres tipos de reservas:

- las reservas probadas (1P), son aquellas que, bajo las técnicas convencionales disponibles, tienen el 90% de probabilidades de ser explotadas;
- las reservas probables (2P) son las que tienen más de 50 % de probabilidades de ser explotadas;
- y las reservas posibles (3P) tienen más del 10 % de posibilidades.

Los datos sobre reservas energéticas son una referencia para las compañías petroleras y los estrategas del mercado de la energía. Aunque hay que remarcar que no se consideran del todo infalibles, ni siquiera por las propias compañías petroleras que se dedican a la evaluación de reservas. A pesar de

que los métodos de evaluación se han venido perfeccionando, desde el punto de vista técnico, no existe consenso sobre ellos y suelen ser objeto de controversias. Adicionalmente, suele suceder que una cosa es la evaluación y otra los datos que se hacen del dominio público.

El caso de México es elocuente, en ambos sentidos. De acuerdo a la BP Statistical Review:

- en 1998 las reservas de petróleo ascendían a 47,800 millones de barriles (47.8 mMb);
- en 1999 la misma revista reportó 28,400 millones de barriles (28.4 mMb);
- y en el 2003 reporta 16,000 millones de barriles (16 mMb).

En 1997 PEMEX contrató una empresa holandesa para evaluar las reservas del petróleo mexicano, lo que explica la corrección que aparece en 1999.

Con relación a la información del dominio público, hasta 1999 podían conocerse datos sobre reservas de petróleo en México a partir de dos fuentes oficiales: la Secretaría de Energía (SE) y PEMEX. Paralelamente, el Departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos (DOE/EIA) tenía y tiene una sección sobre México, con información más completa y mejor organizada que la que se puede encontrar en fuentes nacionales. Además de estas fuentes, el anuario estadístico de la British Petroleum Company, BP Statistical Review, —la fuente de información mejor estructurada y más sintética a nivel mundial—, contiene información sobre México.

Controversialmente los datos de estas cuatro fuentes de información son muy diferentes (*Tabla 1*). Está claro que las cifras que se publican expresan el desinterés del Estado por difundir información clara. No es problema de veracidad; las cifras tienen su explicación, que por supuesto sólo está al alcance de especialistas y no salta a la vista.

A partir del 2000, parece que la política es otra. PEMEX no publica más los datos sobre reservas, sólo lo hace la Secretaría de Energía. Según ésta:

- al primero de enero del 2003 las reservas totales ascendía a 50,032 millones de barriles de petróleo (Mb), de las cuales, el 40.1 % (20,063 Mb) se consideran como reservas probadas, en tanto que el 33.9 % (16,961) y el 26 % (13,008 Mb) corresponden, respectivamente, a las reservas probables y posibles;
- al primero de enero de 2004 ascendían a 48,041 millones de barriles de petróleo crudo equivalente, de los cuales el 41 % correspondían a reservas probadas (19,697), en tanto que el 34 % (16,334) correspondían a reservas probables y el 25 % (12,010) correspondían a reservas posibles.

En contraste, la BP Statistical Review para diciembre del 2002, reportaba reservas probadas por 17,200 Mb y para diciembre del 2003 por 16,000 Mb, 14% y 18.7% menos respectivamente de lo que dice la fuente oficial mexicana.

En síntesis, las reservas arrastran tres factores de incertidumbre:

- incertidumbre técnica, asociada con los métodos de cálculo;

- incertidumbre económica; dado que las reservas están definidas en relación a la factibilidad de ser explotadas, no puede resultar lo mismo un yacimiento al principio de su vida, cuando el precio de extracción por barril es del orden de 10 dólares que al fin de su vida cuando los precios pueden alcanzar 30 dólares; tampoco da lo mismo que el precio en el mercado sea de 10 dólares por barril a que sea de 50 dólares. Las reservas deben variar en función del precio, y no sólo del petróleo sino también del gas;
- incertidumbre política, dado que una cosa son las cifras reales y otra las públicas y su publicación constituye una acción política, soberana para cada Estado, que en ocasiones no es exacto y a menudo trae implícito la determinación de jugar un cierto papel en el escenario mundial del petróleo.

	BP Statistical [1]	Secretaría de Energía [2]	Pemex [3]			Secretaría de Energía [4]
	Petróleo	Reservas Probadas Hidrocarburos:	Hidrocarburos			Crudo
			Crudo	Líquidos del gas	Gas seco	
1987	48600					
1988	54100	67600				
1989	56400	66450				
1990	52000	65500				
1991	51300	65000				
1992	51300	65050				51200
1993	50900	64516				50800
1994		63220				49800
1995		62058				48800
1996	48800	60900				48500
1997	48500	56505				47800
1998	47800	57741	24700	3699	5780	46600
1999	28400	58204	24631	3629	5844	
2000	28300		23660	3280	5674	
2001	26900					
2002	17200					
2003	16000					

Fuentes:
 [1] BP statistical review of world energy, (2000), p. 4.
 [2] <http://www.energia.gob.mx/estadisticas/hidrocarburos/reservas.htm>.
 [3]. Pemex Exploración y Producción (1999), <http://www.pemex.com/>.
 [4] *Reservas mundiales de petróleo crudo 1993-1999*, Agenda Estadística del sector energético 1993-1998, <http://200.23.166.206.1030/publicaciones/agenda.pdf> , p. 14.

En estas condiciones, las cifras sobre reservas, son poco creíbles. Algunos analistas hacen escarnio de las preocupaciones sobre el agotamiento de las reservas con comentarios como: "desde hace 40 años se estima que las reservas durarán 40 años".

Los gobiernos de los países industrializados hacen caso omiso del eventual agotamiento de las fuentes de energía, están pendientes de garantizar el suministro permanente de energía, y sobre todo, a los precios más bajos posibles; dejan la responsabilidad del agotamiento de las reservas a los productores.

Los países productores teóricamente deben administrar sus recursos energéticos con fines de preservación y de obtener buenos beneficios; cosa que a menudo esta fuera de su alcance, puesto que en su mayoría están sometidos a presiones económicas y compromisos internacionales.

Los consorcios petroleros que dominan la industria petrolera han estado siempre del lado de los optimistas. Es decir, han hecho caso omiso de un eventual agotamiento de las reservas.

Lo cierto es que las reservas han estado en constante evolución, resultado del descubrimiento de nuevos yacimientos. Aunque en efecto, deberá haber un límite. La Tierra no esta llena de petróleo y de gas. Nadie sostiene la hipótesis del carácter ilimitado de las reservas; prueba de ello es el impulso generalizado de las grandes potencias, para el desarrollo de fuentes de energía de remplazamiento o alternativas.

Las reservas, a pesar del grado de incertidumbre, son un indicador ineluctable, tanto por las compañías petroleras como por los gobiernos de las potencias mundiales.

De acuerdo a la U. S. Energy Information Administration, de octubre del 2003 a octubre del 2004, la producción de petróleo en territorio americano disminuyó 11%¹¹.

Implícitamente se reconocen problemas en relación a las reservas: ante el problema de la vinculación del déficit mercantil de Estados Unidos con el aumento del precio del petróleo y la declinación de la producción de petróleo americana, Alan Greenspan, Jefe de la Reserva Federal de los Estados Unidos, dice tener confianza en nuevos descubrimientos de petróleo, el desarrollo de nueva tecnología para hacer explotable yacimientos que hoy no lo son y nuevas medidas de conservación.

El modelo de Hubbert

En 1956, en el momento en que el petróleo acababa de rebasar al carbón como principal fuente de energía mundial, el geólogo M. King Hubbert (1903-1989) predijo que Estados Unidos alcanzaría en 1970 el pico de producción de petróleo, con la subsecuente caída la producción. Y en efecto a partir de los 70's Estados Unidos recurrió a las importaciones de manera cada vez más importantes.

Hubbert desarrolló una curva en forma de campana (producción anual vs. tiempo en años) cuya área bajo la curva debía ajustarse a las reservas. En 1971 Hubbert predijo que el cenit —o pico— de producción del petróleo a nivel mundial

¹¹ Dan Ackman, *Oil Hits \$55 alarm; Grenspan Hits Snooze*, Forbes (10.18.04).

entre 1995 y el 2000. Su predicción no se cumplió, entonces su modelo fue muy cuestionado; Hubbert y sus partidarios fueron entonces designados "el grupo de los pesimistas"; sarcásticamente, se les ha situado del lado de "los predicadores del fin del mundo". Pero en la medida que la realidad del petróleo cimbra al mundo, el cenit del petróleo está siendo estudiado cada vez con mayor atención.

Entre los partidarios del modelo de Hubbert, Colin J. Campbell y Jean H. Laberrère, retomaron la campana de Hubbert en 1998, y considerando las reservas totales —probadas más probables más posibles— en 2 billones de barriles (2,000 mMb), predijeron el pico del petróleo a nivel mundial para el 2010 ^{12, 13}.

Campbell fundó la asociación para el estudio del pico del petróleo (ASPO)¹⁴. Para él, la situación crítica iniciará en el punto de inflexión de la campana, es decir, en el pico del petróleo. A partir de ese momento —evidentemente no se acaba el petróleo, sino que— se termina el petróleo barato.

Las imprecisiones que existen en el cálculo del cenit de petróleo dependen de la incertidumbre que existe en la estimación de las reservas. British Petroleum, considera que las reservas totales ascienden a 2,400 mMb —es decir, alrededor del doble de las reservas probadas—. The US government Geological Survey, estima las reservas totales en 3,000 mMb; siendo estas las cifras de referencia para ExxoMobil y Shell.

En el caso de México, no hay una versión oficial acerca del pico del petróleo. Sin embargo la producción de petróleo ligero disminuyó 34 % entre 1994 y el 2004; muy probablemente ya se alcanzó el pico del petróleo ligero. Y en cuanto a la producción de petróleo pesado, aunque no es oficial, las gráficas de PEMEX muestran el pico en el 2008.

III.4 Reservas mundiales de energía fósil

De acuerdo a las estadísticas de la British Petroleum Company, al 31 de diciembre de 2003 las reservas probadas de energía fósil ascendían a 5,930 miles de millones de barriles de petróleo (mMb) lo que equivale a 808.6 mil millones de toneladas equivalentes de petróleo:

- las reservas mundiales de petróleo ascendían a 1,148 mMb es decir el 19.3 % del total;
- las reservas de gas natural ascendían a 175.78 mil millones de metros cúbicos, que equivalen 1,106 mMb, es decir el 18.7 %;

¹² Hubbert Colin J. Campbell and Jean H. Laberrère, Preventing the next oil Crunch, Scientific American, Special report, Vol. 278, No 3. (1998).

¹³ De acuerdo a BP Statistical Review (jun 2004), en el 2003 las reservas probadas mundiales ascendían a 1,148 mMb

¹⁴ Pagina de ASPO: <http://peakoil.net/> .

- y las reservas de carbón ascenderían a 984,453 Mt que equivalen a 3,676 mMb y representan el 62 % de las reservas fósiles a nivel mundial¹⁵.

Relación Reserva Producción (R/P)

Los datos sobre reservas de petróleo, no pueden hablar por si mismos, es más común interrogarse sobre su duración y no sobre su magnitud. Es difícil predecir con precisión la producción o el consumo a futuro; prever un crecimiento resulta ser muy comprometedor. Alternativamente, se ha definido un factor convencional, llamado Relación Reserva Producción (R/P) que establece la duración de las reservas si el consumo permaneciera constante. Su cálculo se efectúa dividiendo las reservas totales entre la producción anual:

$$R / P(\text{años}) = \frac{\text{Reservas Totales (Mb)}}{\text{Producción Anual (Mb / a)}}$$

Esta expresión es útil en el cálculo de la duración de cualquier tipo de reservas de recursos no renovables: Petróleo, Gas Natural y Carbón o bien minerales.

La producción mundial de combustibles fósiles en el 2003 ascendió a:

- 3,697 Mtep de petróleo (27.1 mMb)
- 2,356 Mtep de gas natural (17.3 mMb) y
- 2,578 Mtep de carbón (18.9 mMb),

la suma da un total de 8,635 Mtep (63.3 mMb).

Con estos datos al ritmo de consumo del 2003, la duración de las reservas:

- de petróleo, serían 41 años,
- las de gas natural 67 años,
- y las de carbón 192 años.

En conjunto, las reservas probadas de energía fósil tendrían una duración de 94 años; cantidad que resulta de dividir las reservas totales entre el consumo por año.

Entre los combustibles fósiles —Petróleo, Gas Natural y Carbón— las reservas de Carbón son las más abundantes del mundo representando el 62%; las reservas de petróleo representan tan sólo el 19.3 % de las reservas mundiales mientras que las de Gas Natural representan el 18.5 %.

Parece lógico que la demanda mundial de energía seguirá aumentando, como resultado primeramente del continuo crecimiento de la población y por la sed de energía de los países del tercer mundo. La población mundial aumenta con una tasa de crecimiento ligeramente superior a 1 % por año. Esto implica que entre el 1999 y el 2020 la población será de entre 6 mil millones y 7 mil 400 millones de habitantes. En consecuencia la demanda de energía no puede ser constante.

¹⁵ 1 mil millones de m³ de GN(1x10⁹ m³) = 6.29 Mbep.

1 tep = 1.5 t de antracita = 3 t de lignito

1 tep = 7.33 b.

Si se pudiera emprender una política de ahorro de energía del orden de 20 %, en 20 años ese esfuerzo sería nulificado con el crecimiento de la población.

Las evaluaciones más conservadoras establecen que el crecimiento de la demanda mundial de energía debe ser de entre 1 y 2 % por año. En consecuencia las reservas tendrán una duración aun menor.

Si se pretende calcular la duración de las reservas, tomando en cuenta una tasa de crecimiento en el consumo, debe utilizarse la expresión¹⁶ :

$$t = \frac{1}{r} \ln \left(\frac{R r}{P_0} + 1 \right)$$

donde: R = reservas, P = producción del año de referencia, r = tasa de crecimiento; t = duración de las reservas.

Utilizando la expresión anterior, la duración de las reservas probadas de energía fósil sería, para valores de tasa de crecimiento en el consumo entre el 1 y el 2 %:

- 66 años para un escenario con una tasa de crecimiento de 1 %,
- 59 años para 1.5 % ,
- y 53 años para 2 %.

No se puede asegurar que estos datos son infalibles. Los avances tecnológicos pueden ampliar las reservas de manera sustancial. Pero lo que si se puede asegurar es que el futuro energético mundial no esta asegurado indefinidamente. Al ritmo de explotación del 2003 las reservas mundiales en promedio tendrán una vida de 41 años.

Pero, ciertamente el petróleo no se va agotar al mismo tiempo en todo el mundo:

- las reservas del Medio Oriente, los más grandes del mundo, durarían alrededor de 88 años;
- las reservas de Venezuela (dos y media veces las de México), durarán alrededor de 71.5 años;

En contraste, Estados Unidos, que devora la cuarta parte del petróleo que se produce en el mundo, tiene reservas tan sólo para 11.3 años. México, no está en mejores condiciones, tiene reservas probadas para tan sólo 11.6 años.

A medida que las reservas comiencen a agotarse, la geografía del petróleo irá cambiando radicalmente. El Medio Oriente será aún más importante. Países que actualmente son autosuficientes en petróleo y cuyas divisas dependen sustancialmente de él, tal es el caso de México, podrán tener grandes problemas de no emprender una política de prevención.

¹⁶ A. W. Culp, Jr. Principles of Energy Conversion, McGraw-Hill, Kogakusha, LTD (1979), p.p. 15-17.

III.5 Alternativas energéticas

Las previsiones más optimistas consideran que los recursos petroleros pueden ascender a 3,896 miles de millones de barriles (mMb); es decir 3.4 veces las reservas probadas (que en el 2003 fueron evaluadas en 1,148 mMb).

Con estos recursos se pueden contemplar 3 escenarios:

- sin crecimiento en el consumo, tasa de crecimiento 0 %, los recursos podrían durar del orden de 130 años;
- con una tasa de crecimiento de 1 % en el consumo, podrían durar 90 años;
- con una tasa de 2 % durarían 66 años.

Si las reservas totales —probadas, más probables, más posibles— son reales, hay un tiempo pertinente para desarrollar nuevas alternativas. Sin embargo, los problemas de abasto del 2004 han mostrado dificultades técnicas para acceder a las propias reservas probadas; quiere decir que acceder a las reservas probables y posibles es un reto tecnológico y financiero de mayores proporciones. Podría decirse que hay tiempo para prevenir una crisis energética, lo que está en duda es si hay recursos, científicos, técnicos, financieros; y por encima de esto si hay decisión política de anticipar escenarios críticos.

El gas natural

Entre las fuentes de energía fósiles, el gas natural es la menos contaminante. Por cada tonelada de gas que se quema se producen 2 toneladas de CO₂, mientras que el petróleo produce 3 toneladas y el carbón 5 toneladas. Por ello, para muchos, es el primer candidato para sustituir al petróleo.

Las reservas probadas son ligeramente inferiores a las del petróleo (1,106 mMb de gas natural v.s. 1,148 mMb de petróleo). La Agencia Internacional de energía (EIA) considera que las reservas totales podrían ser del orden del doble de las probadas.

Su producción en el 2003 fue del orden de dos tercios de la del petróleo. En Estados Unidos tuvo una tasa anual de crecimiento del orden de 3 %.

Parte del problema con el gas es que sus reservas se encuentran muy dispersas en el mundo. La Federación Rusa tiene el 26.7 % de las reservas mundiales, Irán el 15.2 %, Qatar el 14.7 %; Estados Unidos 3 %, Nigeria 2.8 %, Argelia 2.6 %, Venezuela 2.4 %. Por regiones, el Medio Oriente tiene el 40.8 % de las reservas.

Rusia es el primer productor de gas y el primer exportador; Europa es su mercado más importante.

El futuro del gas natural es muy prometedor: es bastante competitivo en la producción de electricidad en los sistemas de ciclo combinado; además, existe una técnica, recientemente puesta a punto, que permite producir combustibles a partir del gas natural: Gas to Liquids (GTL).

El problema del gas natural es su transporte desde su lugar de origen hasta los grandes centros de consumo. Un tercio de las reservas mundiales se encuentra en Siberia y en el Ártico. Hacer al gas natural atravesar zonas continentales, sólo implica la construcción de gaseoductos; pero hacerlo atravesar el Atlántico, por ejemplo, requiere primero ser licuado (LNG) antes de transportarlo, luego embarcarlo en tanques de almacenamiento especiales; en el puerto de destino es necesario desgasificarlo y entubarlo, proceso que es sumamente costoso porque requiere un desarrollo industrial enorme, que además consume grandes cantidades de energía.

Una terminal de desgasificación cuesta del orden de 4 mil millones de dólares; mientras que un gaseoducto cuesta entre 1 y 5 millones de dólares por milla¹⁷.

La liberalización del mercado del gas esta introduciendo nuevas formas del mercado. Por una parte existe resistencia a esa liberalización, que impone precios altos para impedir la apertura a nuevos actores del mercado. Por otro lado, el interés por imponer un mercado concurrencial avanza a pasos agigantados tras la incursión en las operaciones de las grandes compañías petroleras Exxon-Mobil, Shell, BP-Amoco y Total-fina-Elf.

A pesar de las virtudes del gas natural, y suponiendo que los problemas técnicos están resueltos, la sustitución del petróleo por gas natural y el propio aumento de la participación en el consumo de energía total, requiere una inversión financiera colosal, del mismo orden que el precio de la planta que pretenda sustituirse.

El carbón

Por la magnitud de sus reservas, no deja de ser una fuente de energía sumamente importante. Comprende las reservas de energía más grandes del mundo.

Los procedimientos de utilización del carbón han evolucionado muy poco desde el siglo XIX. Fue destronado por el petróleo en los años 50, justamente por sus inconvenientes. Su transporte no es nada fácil, es muy encombrante, emite grandes cantidades de CO₂ y SO₂, los riesgos de explosiones en las minas son muy altos, el humo y las cenizas generadas durante la combustión no son nada agradables puesto que ennegrecen los edificios y esparcen cenizas por doquier; emisiones que además son muy perjudiciales para los habitantes de las zonas vecinas.

Por esas razones desapareció como fuente de calefacción, sin embargo se sigue utilizando mucho en la producción de electricidad. Notablemente Estados

¹⁷ Rodger Doyle, *World Power Could Shift if Natural Gas Supplants Oil*, Scientific American, (October 2004), p. 18.

Unidos produce el 56 % de su electricidad en base a carbón. Además tiene grandes usos industriales, en especial en la industria siderúrgica.

Los más grandes consumidores mundiales son China, que consume el 31 % y Estados Unidos 22.3 %. Muy lejos les siguen la India con el 7.2 %, Japón con el 4.4 %, la Federación Rusa que consume el 4.3 %, Sudáfrica y Alemania que consumen el 3.4 %, Polonia el 2.3 % y Corea del Sur con 2 %.

Es la fuente de energía más barata, tal vez porque por el momento no existe un mercado mundial bien establecido ni está en la mira de los grandes consorcios mundiales de la energía.

Existe una técnica para producir combustibles a partir del carbón, ésta es conocida como el proceso Fischer-Tropsch; un proceso muy utilizado en Sudáfrica desde hace décadas. Sin embargo es altamente consumidor de energía. Para producir hidrocarburos se requiere asociar hidrógeno a los átomos de carbón; el hidrógeno se separa del agua por electrolisis, lo que requiere energía eléctrica.

Para producir el equivalente a una unidad de energía en forma de combustibles, se necesitan dos unidades de energía a partir del carbón; lo que implica la producción de una gran cantidad de CO₂.

La energía nuclear

Ante la creciente demanda de energía en el mundo y ante la disminución paulatina de las reservas de energía de origen fósil —petróleo, gas natural y carbón— en muchos países y en mayor proporción en los países industrializados, se ha intentado impulsar el desarrollo de fuentes alternativas de energía y notablemente las fuentes de energía renovables. Sin embargo, el retraso relativamente prolongado de resultados concretos, en busca de fuentes alternativas macroenergéticas como la fusión termonuclear (a pesar de grandes inversiones destinadas a su desarrollo) y la capacidad limitada de las fuentes renovables, mantienen un lugar reservado para la *nucleoelectricidad* como alternativa macroenergética complementaria.

Tras el embargo petrolero las centrales nucleoelectricas fueron vistas como la única alternativa energética capaz de reducir la dependencia del petróleo de los países industrializados. Su impulso fue tan explosivo que el número de centrales pasó de 30 —que había a principios de los años sesenta— a más de 400 a mediados de los años 80.

Tras los accidentes de Three Miles Island el 28 de marzo de 1979 en Estados Unidos y el de Chernobyl del 26 de abril de 1986 en la ex-Unión Soviética, algunos críticos diagnosticaron la Crisis de la Energía Nuclear.

En 1987 había 417 centrales nucleoelectricas en el mundo con una capacidad instalada de 296.8 GWe¹⁸, generando el 16 % de la electricidad a nivel mundial.

¹⁸ GWe (Giga watt eléctrico), múltiplo del watt, es una unidad de potencia eléctrica. El prefijo G (giga) equivale a mil millones (10⁹). 1 GWe = 1,000 MWe = 1x10⁹ We.

A pesar de los accidentes y contra muchas expectativas, aumentó el número de centrales nucleoelectricas, la capacidad instalada y la participación de la nucleoelectricidad en el mundo.

En 1997 había 437 reactores en operación y 36 más en construcción. La capacidad instalada ascendió a 351.7 *GWe*. Respecto a 1987, entraron en operación 20 nuevas centrales, un número reducido en relación a la década anterior; pero en términos de capacidad instalada representó el 18.5 %. Las centrales que entraron en operación eran más grandes y con sistemas de seguridad más avanzados.

Desde 1997 hasta el 2003, han permanecido constantes tanto el número de centrales como la capacidad instalada; aunque hay 32 plantas en construcción que representarán un 7 % adicional en la capacidad instalada. En gran parte eso se debe a que los bajos precios del petróleo de 1998 y 1999 y los precios moderados del 2000 y 2001 disminuyeron considerablemente la competitividad del *kWh*¹⁹ de las centrales nucleares frente al de las centrales térmicas o termoeléctricas.

Estados Unidos no tiene ninguna central nuclear en construcción desde hace más de una década. La última planta se puso en operación en 1996. Digamos que han apostado más por las fuentes fósiles.

Al 1 de enero del 2003, había 441 centrales nucleoelectricas en operación en el mundo y 32 plantas en construcción (*Tabla 2 y Tabla 3*). En conjunto producían el 6.1 % de la energía primaria, equivalente a 598.8 *Mtep*. Su participación mundial no es despreciable.

Estados Unidos es el primer productor mundial de nucleoelectricidad. En el 2003 produjo el 30.4 %, le siguió Francia con 16.7 %, Japón con el 8.7 %, Alemania con el 6.2 %, la Federación Rusa con el 5.7 %, Corea del Sur con el 4.9 %, Reino Unido con el 3.4 %, Ucrania con el 3.1 %, etc. Aún así, el futuro de la energía nuclear es incierto. Esto no quiere decir que vayan a desaparecer de la escena.

Pesan sobre la energía nuclear los costos en materia de seguridad y salvaguardas; las interrogantes en relación a los depósitos de los desechos nucleares y el destino del plutonio generado durante la operación.

Ante las exigencias en materia de seguridad están en proceso de construcción los reactores de 4ª generación; también llamados de seguridad intrínseca o con reactividad negativa, es decir, reactores cuyo sistema de control es tal que se suspende instantáneamente, a semejanza del acelerador de un carro cuando o bien se frena o simplemente se suelta el acelerador por razones desde muy elementales hasta de emergencia.

Las anteriores generaciones eran sumamente costosas, particularmente la inversión inicial; el tiempo de puesta en operación —desde la gestión, la construcción civil, la instalación del reactor y generador, pruebas y puesta en operación— excepcionalmente fue menor a 10 años.

Los promotores de la nueva generación de reactores pretenden disminuir tiempos de construcción, instalación y pruebas, costos y aumentar las medidas de

¹⁹ kWh es una unidad convencional de energía eléctrica. El prefijo *k* (kilo) equivale a mil (10^3). Un *kWh*, equivale a la producción de mil *W* durante una hora. $1 kWh = 3.6 \times 10^6 J$.

$1 MWh = 3.6 GJ$.

seguridad para hacer competitivo el precio del *kWh* nuclear con el generado por cualquier otro tipo de sistema convencional.

Para muchos países, el principal problema para acceder a la energía nuclear es justamente la inversión inicial, que la hace inaccesible para muchos países de desarrollo medio.

Tabla 2. Centrales Nucleares en operación en el Mundo en el 2003 (Orden por numero de centrales y Capacidad Instalada)					
	País	Centrales en operación	*	País	Capacidad Instalada (MWe)
1	Estados Unidos	104	1	Estados Unidos	98230
2	Francia	59	2	Francia	63073
3	Japón	54	3	Japón	44287
4	Federación Rusa	30	6	Alemania	21283
5	Reino Unido	27	4	Federación Rusa	20793
6	Alemania	19	7	Republica de Corea	14890
7	Republica de Corea	18	5	Reino Unido	12052
8	Canadá	16	8	Canadá	11323
9	India	14	10	Ucrania	11207
10	Ucrania	13	11	Suecia	9432
11	Suecia	11	12	España	7574
12	España	9	13	China	5983
13	China	8	14	Bélgica	5760
14	Bélgica	7	15	Republica Checa	3468
15	Republica Checa	6	17	Suiza	3200
16	Republica Eslovaca	6	18	Bulgaria	2722
17	Suiza	5	19	Finlandia	2656
18	Bulgaria	4	9	India	2503
19	Finlandia	4	16	Republica Eslovaca	2408
20	Hungría	4	23	Republica de Lituania	2370
21	Argentina	2	22	Brasil	1901
22	Brasil	2	26	África del Sur	1800
23	Republica de Lituania	2	20	Hungría	1755
24	México	2	24	México	1360
25	Pakistán	2	21	Argentina	935
26	África del Sur	2	30	Eslovena	676
27	Armenia	1	29	Rumania	655
28	Holanda	1	28	Holanda	450
29	Rumania	1	25	Pakistán	425
30	Eslovena	1	27	Armenia	376
	Total:	441			360431

* orden de acuerdo al número de centrales
 Construida con datos de: International Atomic Energy Agency (2004)

Tabla 3. Centrales Nucleares en construcción en el 2003			
	País	Centrales	Capacidad (MWe)
1	Ucrania	4	3800
2	Japón	3	3696
3	India	8	3622
4	Federación Rusa	3	2825
5	China	3	2610
6	Republica Islámica de Irán	2	2111
7	Republica de Corea	2	1920
8	Rep. Democrática de Corea	1	1040
9	Republica Eslovaca	2	776
10	Argentina	1	692
11	Rumania	1	655
	Total:	32	26447
Construida con datos de: International Atomic Energy Agency (2004)			

La energía solar

Entre las fuentes de energía renovables, la energía solar es potencialmente importante en latitudes menores a 35 °. La cantidad de energía solar que se llega a la superficie de la Tierra en una latitud de ese orden es del orden de 20 quads (Q) por año por cada 4000 km².

Un quad es una unidad de energía equivalente a un cuatrillón de BTU ²⁰ ; esto es $1 \text{ Q} = 1 \times 10^{15} \text{ BTU} = 1.06 \times 10^{18} \text{ J} = 2.5 \times 10^{14} \text{ Kcal}$. Esta unidad en cierta forma es muy práctica. Para tener una idea de la magnitud de ésta unidad, el consumo mundial en el 2000 fue alrededor de 400 Q/año; el consumo de Estados Unidos fue del orden de 100 Q/año.

La eficiencia de las celdas solares comerciales es del orden de 15 %; es decir, relativamente reducida. Así pues para producir 1 Q se necesitan llenar de paneles solares una superficie del orden de entre 2,000 y 4,000 km², dependiendo de la latitud. México consume del orden de 5.6 Q de energía por año. En el caso de Estados Unidos, tan sólo para producir el 20 % de su energía con celdas solares, sería necesario cubrir de celdas solares una extensión del orden de 80,000 km²; lo que representa un cuadrado de cerca de 300 km de lado.

Tener capacidad de mantenimiento de una superficie tal no es un problema sencillo. Localizar un panel que se funda, por cualquier causa —efectos de un tornado, de meteoritos, o simplemente fallas en la operación— implica la localización de todos y cada uno de los paneles y tener facilidad de acceso a todo el sistema.

Suponiendo que ese problema sea menor, habrá que tomar en cuenta, que la radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra tiene múltiples funciones y es indispensable para mantener en actividad al conjunto de sistemas que coexisten

²⁰ BTU (Unidad Térmica Británica) se define como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una libra de agua de 63°F a 64°F (una Kcal equivale a 3.968 Btu).

en la Tierra. Es esencial en la fotosíntesis, es imprescindible para mantener la temperatura de la Tierra, que a su vez propicia los vientos y la circulación de la atmósfera que determina los cambios estacionarios.

La presencia de paneles solares a gran escala, necesariamente implica modificar las condiciones naturales de interacción entre la radiación solar y la superficie de la Tierra. En un dado caso es impredecible el efecto que esto pueda acarrear.

Se esta hablando de extensiones enormes. En este caso es indiscutible que habrá un efecto al medio ambiente. La energía solar aprovechada en forma masiva a gran escala, dejará de ser considerada como una energía inerte. En efecto no emite CO₂, ni gases a la atmósfera, pero el hecho de evitar el intercambio de energía hacia la superficie de la Tierra implica una modificación del ambiente.

Si bien es cierto que se puede pensar en ubicar plantas generadoras solares en los desiertos, habrá que tomar en cuenta que, si bien es cierto que el desierto es un medio hostil para las especies vivientes, de cualquier manera es el hábitat de muchas especies que tienen una función en el ciclo de la vida. Pero por encima de ello el desierto tiene funciones climáticas y juega un importante papel en el equilibrio térmico de la Tierra.

Sin embargo, a pequeña escala y nivel doméstico es una alternativa muy interesante, que merece un desarrollo importante. Es decir, debe considerarse en su dimensión correcta. A la luz de los conocimientos actuales, la energía solar es una alternativa con un potencial moderado.

La tecnología de la conversión fotovoltaica es aun muy costosa. En el 2002 en Francia el kWh se estimaba en 20 centavos de euro; esto implica un precio tres veces superior al kWh comercial en México, sin considerar gastos de importación de los paneles. A medida que el precio de los combustibles fósiles aumente, es posible que la tecnología de conversión fotovoltaica llegue a ser competitiva.

Está en desarrollo una tecnología en base al depósito de películas semiconductoras de materiales amorfos. La tecnología es mucho más simple, que la de los cristales semiconductores convencionales. Actualmente se desarrollan dos tipos de semiconductores amorfos, uno en base al silicio y el otro en base al cadmio. En el caso del silicio, el problema es que el rendimiento es muy bajo, del orden de 7 a 8 % —sólo el color azul es absorbido—; y en relación al cadmio, con un rendimiento del 13 %, el problema es su alta sensibilidad a la humedad, lo que requiere un encapsulado que deviene costoso y baja el rendimiento.

La energía eólica

Los generadores oleoeléctricos han seguido una expansión sorprendente en los últimos años. En 1997 la capacidad instalada en el mundo ascendía a 7,200

MWe²¹, en octubre del 2002 ascendió a 27,257 MWe, y en el 2004 a 39,294 MWe²². La energía eólica representa alrededor de 0.6 % del total de energía primaria que se consume en el mundo; alrededor del 10 % de la capacidad instalada en plantas nucleares; de ninguna manera es insignificante.

Los países más importantes son Alemania, Estados Unidos, España, Dinamarca y la India. En el 2002 Alemania tenía 38.7 % de la capacidad instalada a nivel mundial, España el 15.5 %, Estados Unidos el 15.1 %, Dinamarca el 9.3 %, la India con el 5.5 %. Estos cinco países suman alrededor del 84 % de la capacidad mundial instalada.

El precio de la electricidad generado por generadores eólicos, se considera que podrá ser competitivo con plantas termoeléctricas de ciclo combinado hasta el 2009.

Lo más costoso de los generadores eólicos es la inversión inicial. Una vez instalada una red de generadores solares, no está sujeta a fluctuaciones de precios de combustible —no necesita combustible—, los costos de operación son muy bajos, y —algo muy importante desde el punto de vista ambiental— no es una fuente que libere emisiones al ambiente. Esto la hace ser una alternativa muy atractiva.

Una desventaja, es que la producción de electricidad es de naturaleza estacionaria; la velocidad de viento cambia a lo largo del año y no es totalmente regular. Debe ser complementada con otro tipo de sistema de generación, pero en definitiva es una fuente complementaria bastante prometedora.

La biomasa

Es la materia orgánica obtenida a partir de la fotosíntesis; comprende en esencia la vegetación de la Tierra en todas sus formas: bosques, selvas, pastizales, matorrales, plantaciones agrícolas, árboles frutales, etc.

La fotosíntesis es un mecanismo mediante el cual los seres vivos poseedores de clorofila y otros pigmentos, utilizan energía visible —luz— y transforman agua y CO₂ en compuestos orgánicos reducidos —glucosa y otros— liberando oxígeno.

La biomasa juega un papel sumamente importante en el equilibrio de la atmósfera: Su función más relevante es la purificación de la atmósfera; a través de la fotosíntesis reduce la concentración de CO₂ y produce oxígeno; aunque no menos importante es su contribución en equilibrio térmico de la Tierra.

²¹ http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_issues/html/windart.html#windenergy.

²² Global Market Reports 2004, <http://www.awea.org/pubs/documents/globalmarket2004.pdf> (March 10, 2004).

Adicionalmente, es la fuente de alimentación de un sinnúmero de especies vivientes, entre otros de la humanidad. Es decir la biomasa es mucho más que una fuente potencial de energía.

Sin embargo, la explotación de la biomasa con fines energéticos es de gran importancia a nivel mundial. Representa alrededor del 11 % del consumo de energía total. Las diferentes formas en las que se utiliza son:

- en su forma tradicional —leña o madera—;
- en forma de *alcohol*, obtenido de la madera (metanol), o de la caña (etanol);
- en forma de *biogás* —metano— obtenido de procesos de digestión aeróbica y anaeróbica de desechos orgánicos;
- en forma de aceite vegetal esterificado *biodiesel*;
- o en forma de carbón vegetal.

A través de la historia de la humanidad, el uso más extensivo de la biomasa ha sido y lo es aun hoy en día, la combustión directa de la madera. En un gran número de países desarrollados dotados de grandes extensiones boscosas se sigue usando para calefacción, más por tradición que por necesidad. Sin embargo en países pobres sin reservas de petróleo, su explotación como combustible es inevitable, puesto que suele ser la única fuente de energía accesible. En estos países, el uso intensivo de la madera ha sido y sigue siendo una de las causas de desertificación.

El *bio-etanol* generado a partir de la caña permite remplazar la gasolina. El *ester de colza* o *biodiesel* que se obtiene a partir de aceite vegetal permite remplazar el gasoil o diesel.

Controversialmente, la biomasa suele ser considerada una fuente alternativa de energía; controversial, porque el consumir biomasa en forma de madera implica una reducción de la biomasa en la Tierra; que tiene la función justamente de reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, y producir oxígeno. Por otra parte, para producir un litro y medio de *bio-etanol* se consume una energía equivalente a un litro de petróleo; similarmente para producir dos litros de *biodiesel* se necesita también un litro equivalente de petróleo.

Se puede pensar que el intensificar la agricultura —digamos la producción de caña- con fines energéticos, no causa ningún detrimento sobre la naturaleza, puesto que se trata de inducir la generación de biomasa. Sin embargo, esto no es del todo cierto, puesto que la agricultura intensiva, indefectiblemente requiere fertilizantes y la producción de estos depende de notablemente del petróleo, como materia prima y como fuente de energía para su producción.

La producción de combustibles a partir de biomasa, implica utilizar combustible tanto para producir fertilizantes como para producir el propio combustible derivado de la biomasa. Adicionalmente tanto su producción como su uso traen consigo la liberación de productos de combustión.

Adicionalmente, los precios del *bioalcohol* y del *biodiesel* es del orden de tres veces más caro que las gasolinas.

Finalmente el potencial energético de la biomasa es realmente reducido; es del orden de un centésimo del rendimiento de las celdas fotovoltaicas de conversión de energía solar, —ambas dependientes de la insolación—.

Sin detrimento de la naturaleza, con fines energéticos se puede disponer exclusivamente de la leña —resultado de la muerte natural de árboles y arbustos— y de los desechos orgánicos. Ambas constituyen fuentes renovables de energía.

La producción de biogás a partir de desechos orgánicos, no es una fuente muy importante de energía, sin embargo es una fuente sustentable, puesto que en si constituye un proceso de regeneración de tierra fértil.

El problema de la biomasa con fines energéticos radica en que su uso no esta restringido a la leña; existe una tala inmoderada de especies en vida (árboles, arbustos y matorrales), que implican una reducción del volumen mundial de biomasa, que constituye en si un factor de desertificación —uno de los grandes problemas globales—.

Ciertamente la tala de árboles no responde exclusivamente al su uso energético; responde a la creciente demanda mundial de madera con diferentes fines, y a la apertura de vías de comunicación y de extensiones agrícolas. Se añaden a los factores de desertificación, inducidos por el hombre, los desastres naturales, los incendios forestales, los efectos de los huracanes y ciclones y las inundaciones. Ciertamente, el uso de la biomasa como fuente de energía no es el único factor de desertificación, pero si el más importante entre los factores producidos por el hombre.

La preservación de la atmósfera pareciera ser prioritaria, por sobre el uso de la biomasa con fines energéticos. Pero, a pesar de que su potencial no es muy grande, la inercia de la biomasa como energético, es de enormes proporciones.

Un gran número de sociedades industriales y de inversión, ven un futuro prometedor en la industria de la producción de *bioalcohol* y de *biodieses*. Adicionalmente, varios gobiernos han abierto programas de financiamiento parcial para alentar éste tipo de industria. Por otra parte, el uso de la madera responde sobre todo a las necesidades básicas de una basta población del mundo.

III.6 Problema energético de México

La situación de México en materia de petróleo no es muy halagadora. Las reservas probadas de petróleo al 2003 ascendían a 16,000 millones de barriles. Al ritmo de producción del año, 3 millones 789 mil barriles por día (1,383 millones de barriles por año), tendrán una duración de 11.6 años.

Habría que comenzar a replantear el problema energético con mucha seriedad. La explotación de reservas posibles, requiere una gran inversión financiera y trabajos previos de magnitud colosal. No se sabe por ahora qué se esté haciendo. Los datos internacionales hasta 2002 decían que PEMEX registraba perdidas anuales del orden de 3 mil millones de dólares.

En cuanto a reservas de energía fósil, México no corre con la misma suerte que Estados Unidos, cuyas reservas de carbón son muy grandes y potencialmente tiene facilidades tecnológicas para impulsar una reconversión energética.

En México en el 2003, el petróleo representaba el 68 % de las reservas de energía fósil; el gas natural representaba apenas el 11.2 % mientras que el carbón el 20.8 %. México no tiene importantes reservas fuera de las petroleras y tampoco tiene una industria pesada autosuficiente, de tal forma que todo se tiene que importar.

Las reservas probadas de gas natural de México no son tan grandes como las de petróleo. Ascendían a $0.42 \times 10^{12} \text{ m}^3$, equivalentes a 2,641 Mb, representando apenas el 0.2 % de las reservas mundiales. Estas reservas permitirían sostener el consumo de energía fósil (132.1 Mtpa) por 2.7 años, si técnicamente estuviera al alcance hacer la conversión a gas natural. El problema técnico implica importar un complejo industrial que sustituya la función de PEMEX, que estaría en operación 2.7 años para las reservas probadas y otros 5 o 6 años para las reservas probables y posibles.

Las reservas de carbón, de México son prácticamente el doble que las de gas natural. Ascenden a 1,211 millones de toneladas (Mt) equivalentes a 4,910 mMb, el 0.1 % de las reservas mundiales. Si se propusiera sustituir al cien por ciento el consumo de energía fósil, el carbón permitiría 5 años de suficiencia; y nuevamente, el procesamiento y la reconversión del carbón requeriría la adquisición de otro complejo industrial que sustituya la función de PEMEX y otra inversión colosal.

Esto implica que no hay solución energética fácil. Cualquier solución a mediano plazo, tendrá un impacto socioeconómico y político importante.

La energía se hizo un tema reservado del Estado: la información oficial, cuando existe, es cuidadosamente confusa, frecuentemente contradictoria y difícil de descifrar por gente que no sea especialista del área. Pareciera que se trata de hacer un manejo estratégico de la información energética. Sin embargo, este tipo de información sólo esta destinada para los mexicanos; las compañías petroleras, la Agencia Internacional de energía, y la OCED tiene información más precisa sobre México que la que presenta la Secretaría de Energía. Los especialistas en materia de energía son muy pocos y están convenientemente disgregados.

Ningún partido político parece estar atento al problema del eventual agotamiento de las reservas de petróleo. Les resulta complejo y suficientemente espinoso, como para tener una opinión; y/o temen la respuesta del electorado en caso de definiciones políticas.

Con cierta tibieza se ha comenzado a discutir en el Congreso de la Unión la eventual modificación del Artículo 27, para permitir la inversión privada en materia energética. La única cara del problema que se ha presentado es la necesidad de financiamiento. Esto, sin duda es un reflejo de las presiones de los organismos financieros internacionales por dejar entrar la inversión extranjera en CFE y PEMEX.

En efecto, hace falta más que una respuesta a las solicitudes de inversión nacionales y extranjeras; hace falta la definición de una política energética a

mediano y a largo plazo. Se requiere una diversificación energética y entre otras cosas impulsar de forma determinante el uso de la energía solar y eólica.

Muchos especialistas deben tener injerencia en materia energética. En cualquier rama de la ingeniería la optimización de sistemas energéticos es un objeto de estudio importante. Pero esos no son los únicos aspectos del ámbito energético. El marco jurídico, y la regulación en la explotación de recursos energéticos renovables es competencia de los abogados y a los políticos. La regulación de precios, el análisis económico, y la modelación de escenarios, compete a los economistas.

La sociedad misma debe estar involucrada; podría comenzar a pensar en el eventual fin de los recursos petroleros. Tarde que temprano tendrá que pedírsele una reducción en el consumo. ¡Ojalá! que las reservas probables y posible sean cinco o más veces las reservas probadas y sea tecnológicamente explotables. Pero si no lo son ¿de donde van a obtenerse las divisas para comprarlo y transportarlo desde Venezuela o del Medio Oriente?

Bibliografía de Referencia

1. Kris Axtman, *Why the rude oil prices?* csmonitor.com, (October 15,2004).
2. Albert A. Bartlett, Thoughts on Long-Term Energy Supplies: Scientists and Silent Lie, *Physics Today*, (July 2004), p.p. 53-55.
3. Jean Louis Bobin, Hervé Nifenecker et Calude Stephan, *L'énergie dans le monde: bilan et perspectives*, EDP Sciences (2001).
4. Xavier Boy de la Tour, Le pétrole : Au-delà du mythe, Ed. TECHNIP, Publications de l'Institut francasi du petrole (2004), p.163.
5. Global Market Reports 2004 Report:
<http://www.awea.org/pubs/documents/globalmarket2004.pdf> (March 10, 2004).
6. http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_issues/html/windart.html#windenergy, (March 10, 2004).
7. <http://www.fossil.energy.gov/international/Western%20Hemisphere/mexiover.html> [on line] (17/01/2005).
8. <http://www.latin-focus.com/spanish/countries>.
9. *Oil Price History and Analysis*, Energy Economics Newsletter, <http://www.wtrg.com/prices.htm> (18/01/2005).
10. Rodger Doyle, *World Power Could Shift if Natural Gas Supplants Oil*, Scientific American, (October 2004), p. 18.
11. The Windicator, Windpower Monthly News Magazine, Vol. 18. No 10, (October 2002).
12. Paul B. Weisz, "Basic Choices and Constraints on Long-Term energy Supplies", *Physics Today*, (July 2004), p.p. 44-51.
13. James L. Williams and A. F. Alhajji, *The coming energy crises*, submitted to Oil and Gas Journal (February 3, 2003).

IV. Energía y Desarrollo en el Mundo

IV.1 La energía en la civilización

En la historia de la humanidad el uso de la energía ha tenido una tendencia creciente.

Los avances de la civilización siempre han sido acompañados por un aumento en el consumo de energía. El descubrimiento de nuevas fuentes de energía y el desarrollo de nuevos y mejores métodos de conversión han sido una tarea indispensable en el desarrollo de la civilización.

En sus inicios, la humanidad no tenía otro recurso que utilizar su propia energía, la humana. Tiempo después, con la ayuda de los primeros instrumentos de trabajo, el hombre incorporó la energía mecánica; adicionalmente comenzó a sustituir la energía humana, utilizando la energía de los animales.

La utilización del fuego aceleró el proceso de civilización.

El uso de la energía de los vientos para accionar los navíos comenzó alrededor de tres mil años antes de Cristo.

Los chinos, un poco antes de nuestra era, refinaban el petróleo crudo para uso en lámparas y en la calefacción de las casas. En esa misma época se comenzó a utilizar la energía de corrientes de agua.

Los árabes y persas del siglo séptimo después de Cristo, mezclando los elementos más ligeros del petróleo con cal anhídrica descubrieron el "fuego griego" el NAPALM de aquellos días.

En la Edad Media los vientos encontraron una nueva aplicación: los molinos de viento.

El desarrollo de la energía no parece haber merecido suficiente atención en la historia, de tal forma que no hay gran precisión en los datos históricos; indudablemente el desarrollo fue lento y errático.

Sin duda la más amplia expansión energética se vivió en el siglo XX. En él se utilizó más energía que en toda la historia de la humanidad.

En la primera mitad del siglo XX, las fuentes de energía fueron explotadas teniendo en consideración exclusivamente su disponibilidad o suficiencia y su bajo costo, es decir, criterios económicos.

A partir de los años 60, con la formación de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) el mundo comenzó a experimentar nuevas relaciones mercantiles entre países petroleros y países industrializados, que pusieron en evidencia que la fuerza del desarrollo de los países industrializados está asociada con la utilización de energía.

A partir del embargo petrolero de 1973 (§ I.2) comenzó la preocupación por la preservación de los recursos energéticos; inició con ello la carrera tecnológica por el desarrollo de fuentes alternas de energía. El desarrollo de la energía nuclear rápidamente tomó la delantera.

En los años 80 surge un nuevo interés relacionado con la energía: el ecológico. Pero por encima del todo interés, la energía continuó siendo normada por los intereses del mercado.

Desde entonces se hizo evidente que el mercado mundial de la energía es determinante en la economía mundial. Las grandes perturbaciones en el mercado de la energía repercuten en la economía mundial y a menudo los acontecimientos mundiales repercuten en el mercado de la energía.

El petróleo es la fuente de energía más importante, en 2003 aportó el 37.3 % de la energía primaria, el carbono aportó el 26.5 %, el gas el 24 %, la energía nuclear 6.1 % y la hidroelectricidad 6.1 %.

El mercado mundial del petróleo es uno de los más grandes y más complejos del mundo.

El consumo mundial de energía aumenta en forma continua e irreversible. La inercia en el consumo es preponderante sobre toda política de ahorro y racionalidad del uso de la energía. El agotamiento de las fuentes no renovables de energía no parece preocupar a los gobiernos de las superpotencias del mundo, ni a los de los países proveedores de energía, ni a los propios consumidores.

La liberación a la atmósfera de volúmenes cada vez más elevados de productos de combustión está asociada al crecimiento en el consumo de la energía. Los países más industrializados, en tanto que son los mayores consumidores de combustibles fósiles, son mayormente responsables tanto del agotamiento de las fuentes de energía como de la liberación de productos de combustión. Ésta es una factura pocas veces vista, que paga la naturaleza, para que los países industrializados mantengan su posición en la economía mundial.

IV.2 El desarrollo en el Mundo en cifras

Tiene relevancia interrogarse sobre las interrelaciones entre economía y el consumo de energía en el mundo:

¿Hay una relación entre el estatus o la supremacía de un país y su consumo de energía?

¿Quién es quién en la economía mundial, en el consumo de energía?

¿Quién es quién en el uso racional de la energía?

¿Qué tan justificable es que la industrialización mundial se funde en consumo de cantidades abismales de energía, en el agotamiento de las fuentes de energía y la liberación de productos de combustión al medio ambiente?

¿A que países corresponden las facturas más elevadas en contaminación y agotamiento de las reservas de energía?

No existe una metodología convencional, para analizar estos aspectos. Podemos presuponer que el desarrollo está asociado con el consumo de energía de un país. La interrogante principal, es ¿en que condiciones esa relación existe y de

que tipo es? es decir ¿que interrelación existe entre el grado de desarrollo de un país, su consumo de energía, la eficiencia energética?

En una primera aproximación se puede asumir que el nivel de desarrollo está directamente relacionado con la riqueza de un país y ésta a su vez con la productividad y con el grado de industrialización.

Una idea aproximada del nivel de desarrollo se puede obtener jerarquizando al mundo en función de su productividad.

Para ello es necesario recurrir a factores o parámetros econométricos tales como: el Producto Nacional Bruto (PNB) el Producto Interno Bruto (PIB) y el Producto Nacional Bruto por habitante (PNB per capita). El uso de parámetros econométricos no evita la necesidad de análisis. De inicio podemos tomarlos estrictamente como unidades de comparación. En el caso de la clasificación del mundo no expresan, por ejemplo, la heterogeneidad en el nivel de vida entre países o entre sectores o entre clases sociales al interior de un país, como tampoco dan cuenta de la situación geográfica o los problemas de orden social que etiquetan el mundo al fin. Pero son los elementos más simples con los que se puede tener una idea aproximada.

El PNB da cuenta de la producción de un país con capital nacional, mientras que el PIB da cuenta de la producción en un país con capitales, bien sean nacionales o extranjeros. En este capítulo se ha utilizado el PNB, en principio por disponibilidad de datos, aunque finalmente parece lo más acertado, puesto que se da cuenta de la capacidad de cada país con su riqueza propia.

Los países más ricos del mundo

En la *tabla 1* se presenta, en términos de PNB, la producción de los primeros 50 países entre 1998 y el 2002.

Como podía esperarse, en orden jerárquico, en el 2002, lo encabezan las potencias mundiales: Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia, Reino Unido. Los primeros 10 países conservan su lugar en forma permanente, dado que las diferencias en los niveles de productividad entre ellos son abismales. Japón por ejemplo, entre 1998 y 2000, tuvo una reducción en su PNB equivalente al PNB de Brasil, octava economía del mundo, y sin embargo no perdió el segundo lugar.

México en el 2002 aparece como la economía número 12, cosa que puede parecer satisfactoria; sin embargo, un análisis sucinto de esta tabla, permite observar que en realidad existen distancias abismales entre los primeros países y los países intermedios como México.

La producción de Estados Unidos, líder mundial indiscutible, es 20.7 veces mayor que la de México. Vista a la inversa, la producción de México representó el 4.8 % de la producción de Estados Unidos, el 10.6 % de la producción de Japón (sublíder), el 20.4 % de la producción de Alemania, o el 29.5 % de la producción de Francia.

Tabla 1. Producto Nacional Bruto de los primeros 50 países del mundo, de 1998 a 2002

	País	PNB				Población 2002 (10 ⁶ hab.)			
		1998 (x10 ⁹ US\$)		2000 (10 ⁹ US\$)			2001 (10 ⁹ US\$)		2002 (10 ⁹ €)
1	Estados Unidos	7690.0	1	8351.0	1	8879.5	1	10104.12	284.5
2	Japón	4772.3	2	4078.9	2	4054.5	2	4613.68	127.1
3	Alemania	2319.5	3	2079.2	3	2103.8	3	2382.29	82.2
4	Francia	1526.0	4	1427.2	4	1453.2	4	1653.62	59.2
5	Reino Unido	1220.2	5	1338.1	5	1403.8	5	1597.41	60
6	Italia	1165.4	6	1136	6	1162.8	6	1323.28	57.8
7	China	1055.4	7	980.2	7	979.8	7	1114.93	1273.3
8	Brasil	773.1	8	742.8	8	730.4	8	831.13	171.8
9	Canadá	583.9	9	591.4	9	614	9	698.68	31
10	España	570.1	10	551.6	10	583	10	663.40	39.8
11	India	373.9	15	442.2	11	441.8	11	502.73	1033
12	México	348.3	16	428.8	12	428.9	12	488.05	99.6
13	Corea del Sur	485.2	11	397.8	13	397.9	13	452.78	48.8
14	Países Bajos	402.7	13	384.3	14	397.4	14	452.21	16
15	Australia	380.0	14	380.8	15	397.3	15	452.09	19.4
16	Rusia	403.5	12	332.5	16	328.9	16	374.26	144.4
17	Argentina	305.8	18	277.9	17	276.1	17	314.18	37.7
18	Suiza	313.5	17	273.1	18	273.8	18	311.56	7.2
19	Bélgica	268.4	19	250.6	19	252	19	286.75	10.3
20	Suecia	232.0	20	221.8	20	236.9	20	269.57	8.9
21	Austria	225.9	21	210.0	21	205.7	21	234.07	8.1
22	Turquía	199.5	23	186.3	22	186.4	22	212.11	66.3
23	Dinamarca	171.4	24	170.3	23	170.6	23	194.13	5.4
24	Polonia	138.9	27	153.1	24	157.4	24	179.11	38.6
25	Noruega	158.9	26	146.4	25	149.2	25	169.78	4.5
26	Arabia Saudita	128.9	29		27	139.3	26	158.51	21.1
27	África del Sur	130.2	28	133.2	26	133.5	27	151.91	43.6
28	Finlandia	123.8	31	122.9	29	127.7	28	145.31	5.2
29	Grecia	126.2	30	124	28	127.6	29	145.20	10.9
30	Indonesia	221.9	22	119.5	31	125	30	142.24	206.1
31	Tailandia	169.6	25	121	30	121	31	137.69	62.4
32	Irán	113.5	32	110.5	32	113.7	32	129.38	66.1
33	Portugal	103.9	33	105.9	33	110.1	33	125.28	10
34	Israel	87.6	37		36	95.0	35	113.22	6.4
35	Singapur	101.8	34	95.4	34	95.4	34	108.56	4.1
36	Colombia	86.8	38	93.6	35	90.0	36	102.41	43.1
37	Venezuela	78.7	39	87	38	87.3	37	99.34	24.6
38	Egipto	71.2	41	87.5	37	86.5	38	98.43	69.8
39	Irlanda	66.4	43	71.4	41	80.5	39	91.60	3.8
40	Filipinas	89.3	36	78	39	77.9	40	88.64	77.2
41	Malasia	98.2	35	77.3	40	76.9	41	87.51	22.7
42	Chile	73.3	40	71.1	42	64.6	42	79.20	15.4
43	Pakistán	67.2	42	64	43	62.9	43	71.57	144
44	Perú	60.8	45	60.3	44	53.7	44	61.11	26.1
45	Nueva Zelanda	60.5	46	52.7	45	53.3	45	60.65	3.9
46	Rep. Checa	63.5	44	52	46	51.6	46	58.72	10.3
47	Bangladesh	33.2	50	47	47	47	47	53.48	133.5
48	Hungría	45.0	47	46.8	48	46.7	48	53.14	10
49	Emiratos Árabes	42.7	48		49		49		3.3
50	Argelia	43.8	49	46.5	50	46.5	50	52.91	31

Las columnas complementarias indican el orden jerárquico de cada año.

Construida con datos de : *Le Monde* <<BILAN DU MONDE>> (1999 A 2003).

Puede observarse, que la posición de un buen número de países, entre ellos México, no es la misma a través del tiempo. En 1998 México ocupaba el lugar número 16; no casualmente fue el año en que el precio del petróleo tocó fondo, bajando a niveles que no se veían desde 1976.

En el año 2000 se había ya posicionado en el lugar número 12, logrando un aumento del 23 % del PNB en esos dos años. De 1998 al 2000 Noruega pasa del lugar 26 al 25; Arabia Saudita, del 28 al 26; Venezuela, del 39 al 38. Esto refleja el nivel de sensibilidad del PNB de los países petroleros a las variaciones en el precio del petróleo.

Un comportamiento inverso se observa en el caso de Japón, que aunque mantuvo la 2ª posición, disminuyó sus ingresos en 14.5% de 1998 al 2000. Corea del Sur pasó de la posición 11 a la 13, Singapur conservó la posición 34 pero disminuyó sus PNB en alrededor de un 5 %, Malasia pasó de la posición 35 a la 40, Filipinas de la 36 a la 39. Japón y Corea del Sur, Singapur y Filipinas importan la totalidad del petróleo que consumen.

Si bien el precio del petróleo no es el único factor determinante de los cambios económicos a escala mundial, es indiscutible su gran impacto en la economía mundial.

Puede observarse que cuando las economías petroleras bajan sus ingresos, las economías industriales los elevan.

PNB per capita

China, el país con la más grande población en el mundo, con 1273 millones de habitantes en el 2002, ocupa la séptima posición en producción (*Tabla 1*), cosa que podría parecer importante; sin embargo, en relación con su enorme población, esta producción es apenas significativa. En forma similar la India, la segunda población mundial, con 1033 millones de habitantes (10.4 veces más grande que la de México), tuvo una producción apenas ligeramente superior a la de México.

Evidentemente debe tomarse en cuenta el efecto poblacional del PNB.

Si se divide la producción de un país (PNB) entre su población o número de habitantes (última columna de la *Tabla 1*) se obtiene el *PNB per capita* que, podría decirse, es la repartición hipotética promedio de la producción sobre la población.

En la *Tabla 2* se presenta el orden jerárquico del *PNB per capita* en el mundo de 1998 a 2002.

Catorce de los primeros veinte países son europeos, lo que habla de la importancia económica de la Comunidad Económica Europea (CEE). Entre estos países, sólo se insertan Estados Unidos (de América), Japón y Singapur (de Asia), Kuwait (de Medio Oriente) y Australia (de Oceanía).

Tabla 2. Producto Nacional Bruto *per capita* de los primeros 50 países del mundo de 1998 a 2002.

	País	1998 (US\$)	2000 (US\$)	2001(US\$)	2002 €
1	Luxemburgo	45330 (1)		42930	48850.71
2	Suiza	44380 (2)	38350	38380	43673.19
3	Noruega	36090 (4)	32533	33470	38086.03
4	Dinamarca	32500 (6)	32132	32050	36470.19
5	Japón	37850 (3)	32143	32030	36447.43
6	Estados Unidos	28740 (7)	30301	31190	35491.58
7	Islandia	27580 (10)		29540	33614.02
8	Suecia	26220 (12)	24921	26750	30439.24
9	Alemania	28260 (8)	25325	25620	29153.39
10	Austria	27980 (9)	25926	25430	28937.19
11	Países Bajos	25820 (14)	24170	25140	28607.19
12	Brunei	25090 (15)			
13	Finlandia	24080 (16)	23635	24730	28140.65
14	Bélgica	26420 (11)	24569	24650	28049.61
15	Francia	26050 (13)	24027	24170	27603.41
16	Singapur	32940 (5)	23850	24150	27480.66
17	Kuwait	22210 (17)			
18	Reino Unido	20710 (18)	22376	23590	26843.42
19	Irlanda	18280 (22)	18789	21470	24431.04
20	Australia	20540 (19)	19833	20950	23839.33
21	Italia	20120 (20)	19654	20170	22951.75
22	Canadá	19290 (21)	19201	20140	22917.61
23	Israel	15810 (25)		16310	18559.40
24	España	14510 (27)	13965	14800	16841.15
25	Nueva Zelanda	16480 (24)	13868	13990	15919.44
26	Grecia	12010 (28)	11698	12110	13780.15
27	Chipre	14930 (26)		11950	13598.09
28	Bahamas	11830 (29)			
29	Qatar	11570 (31)			
30	Portugal	10450 (32)	10590	11030	12551.21
31	Eslovenia	9680 (33)	9800	10000	11379.15
32	Malta	8630		9210	10480.20
33	Barbados	6590		8600	9786.07
34	Corea del Sur	10550	8412	8490	9660.90
35	Argentina	8570	7511	7550	8591.26
36	Bahrein	7820			
37	Arabia Saudita	6790		6900	7851.62
38	Seychelles			6500	7396.45
39	Uruguay	6020	5636	6220	7077.83
40	Rep. Checa	5200	5049	5020	5712.34
41	Omán	4950			
42	T. y Tobago	4230		4750	5405.10
43	Hungría	4430	4680	4640	5279.93
44	Chile	5020	4678	4630	5268.55
45	Croacia	4610	4435	4530	5154.76
46	México	3680	4305	4440	5052.34
47	Brasil	4720	4367	4350	4949.93
48	Polonia	3590	3966	4070	4631.32
49	Eslovaquia	3700	3593	3770	4289.94
50	Líbano	3350	3762	3700	4210.29

En la columna de datos para 1998, el número dentro del paréntesis indica el orden jerárquico ese año.
 Los países para los cuales no se dispone de datos se ubican de acuerdo a su posición en años anteriores.
 Construida con datos de : *Le Monde* <<BILAN DU MONDE>> (1999 A 2003).

Esta jerarquía no toma en cuenta la diferencia del costo de la vida en cada país. Esta precisión hay que hacerla, puesto que un dólar de PNB *per capita* en Japón o en Suiza no puede significar lo mismo (en términos de poder adquisitivo) que un dólar en México, en China o en el propio Estados Unidos.

Si la distribución de la riqueza fuera homogénea en cada país y si el costo de vida entre países fuera equivalente, la jerarquía de la *tabla 2* correspondería con el nivel de vida promedio de los habitantes de cada país.

Un alto *PNB per capita* no necesariamente implica un volumen de producción (PNB) elevado. Luxemburgo, el país con más alta producción por habitante en el mundo, tiene el privilegio de localizarse en el corazón de Europa, con distancias y mercados al alcance de la mano, y una población de alrededor de 400 mil habitantes no alcanza a tener volúmenes de producción importantes, a tal grado que aparece en el lugar 63 en la jerarquía de los países productores del mundo (*Tabla 1*).

En contraste, Estados Unidos, el país más rico del mundo, aparece tan sólo en 6° lugar. Esto se explica, en buena medida, debido a sus elevados costos de transporte, derivados de las grandes distancias que deben viajar por el mundo las materias primas, los productos parcial o totalmente terminados y las mercancías. Debieran también tomarse en consideración múltiples gastos, propios de una potencia mundial: presupuesto para la defensa, diplomacia, burocracia.

Brasil y México, 8° y 12° lugar en producción mundial (en términos de *PNB*), aparecen en los lugares 47° y 46°, respectivamente, de la lista de países con mayor capacidad de producción por habitante (*Tabla 2*).

El *PNB per capita* de Luxemburgo en el 2002 fue 9.7 veces el de México; el de Estados Unidos, 7 veces el de México. Estos datos hablan por si solos.

IV.3 Consumo mundial de energía

No hay nada que se mueva sin energía en el mundo, en cualquiera de sus formas.

Entre más industria tiene un país, más energía necesita o más energéticos consume, y viceversa.

El consumo de energía depende del tipo de industria, y en general del conjunto de actividades económicas. Sin embargo, el consumo de energía no refleja el grado de industrialización, porque el parque industrial en cada país es diferente y porque el consumo energético es muy variable de un ramo industrial a otro. La extracción de petróleo, la industria del acero, y la producción de energéticos (como las gasolineras), son ejemplos de industrias altamente consumidoras de energía. Son bien conocidas las iniciativas tendientes a desplazar las industrias altamente consumidoras de energía, de los países industrializados a los de desarrollo medio.

Visto a la escala de un país, lo deseable es disponer de una industria que evite depender de las importaciones o bien tener los medios para adquirir los bienes que no se pueden producir en el propio país. En la realidad, dependiendo de

condiciones geográficas, políticas, económicas y sociales, cada país tiene una diversidad de actividades productivas, con un nivel de consumo energético propio de cada una de ellas. El consumo total de energía corresponde con el nivel de desarrollo del conjunto de sus actividades productivas. Por ello es justificable que ese nivel de consumo se pretenda asociar al nivel de desarrollo.

Los mayores consumidores de energía en el mundo

Para jerarquizar los países que consumen más energía, necesariamente se tiene que utilizarse una unidad común que refleje el nivel de consumo de cada país, independientemente de la fuente de energía utilizada. Las unidades más utilizadas toman como referencia al petróleo y son equivalentes a la energía que se puede extraer de una cantidad de petróleo, notablemente un barril (1 *b*)²³, un kilogramo o una tonelada de petróleo. Un kilogramo equivalente de petróleo se abrevia 1 *kgep* y una tonelada equivalente de petróleo 1 *tep*²⁴.

En la *Tabla 3* se presenta el orden jerárquico de los primeros 50 países consumidores de energía en 2001 y 2002. Se presenta también una columna del PNB de cada país con el fin de visualizar una eventual correspondencia y la fracción de la energía total que consume cada país.

Se puede observar que existe en realidad una distancia abismal entre los primeros países consumidores y el resto del mundo.

Estados Unidos consume anualmente alrededor de la cuarta parte de la energía que se consume en el mundo. México ocupa el 15º lugar en la tabla. Su consumo habría que multiplicarlo por 17 para equiparar el consumo de energía de los Estados Unidos.

Podría esperarse que el orden jerárquico del consumo de energía correspondiera con el de la producción mundial, pero no sucede así. Estados Unidos encabeza ambas jerarquías, es la primera potencia económica y es a su vez el mayor consumidor de energía del mundo. Le siguen China y Rusia que figuran como las potencias económicas 7 y 16. Luego aparecen Japón y Alemania 2ª y 3ª potencias económicas, y se intercalan enseguida la India y Canadá, potencias económicas 11 y 9 respectivamente.

Es decir, hay países con un consumo de energía superior a su nivel económico, lo que indica que una unidad de energía no produce la misma riqueza en el mundo o que el consumo de energía no tiene un comportamiento lineal con la capacidad productiva.

China y la India, con 1273 y 1033 millones de habitantes respectivamente, son las dos poblaciones más grandes del planeta. Su consumo elevado de energía responde a su enorme población, y a la eficiencia de su planta industrial.

²³ Un barril de petróleo estándar (1 *b*) tiene un volumen de 157 litros y su energía es equivalente a 1.36 millones de kilocalorías (1.36 *Mkcal*) o a 5.73 giga joules (5.73 *GJ*).

²⁴ Una tonelada equivalente de petróleo contiene aproximadamente 10 *Mkcal* o 42 *GJ* de energía.

Tabla 3. PNB y Consumo de Energía de los primeros 50 países del mundo.							
	País	2001			2002		
		PNB 10 ⁹ US\$ †	Consumo (Mtep)	Fracción (%)	PNB 10 ⁹ € †	Consumo (Mtep)	Fracción (%)
1	Estados Unidos	8879.5	2237.3	24.5	10104.1	2293.0	24.4
2	China	979.8	839.7	9,2	1114.9	997.8	10.6
3	Rusia	328.9	643.0	7,0	374.3	640.2	6.8
4	Japón	4054.5	514.5	5,6	4613.7	509.4	5.4
5	Alemania	2103.8	335.2	3,7	2382.3	329.4	3.5
6	India	441.8	314.7	3.4	502.7	325.1	3.5
7	Canadá	614	274.6	3.0	698.7	288.7	3.1
8	Francia	1453.2	256.4	2.8	1653.6	258	2.7
9	Reino Unido	1403.8	224.0	2.5	1597.4	220.3	2.3
10	Corea del Sur	397.9	195.9	2.1	452.8	205.8	2.2
11	Italia	1162.8	177.2	1.9	1323.3	174.8	1.9
12	Brasil	730.4	173.6	1.9	831.1		
13	España	583	134.6	1.5	663.4	134.5	1.4
14	Ucrania	41.9	131.1	1.4	47.7	133.8	1.4
15	México	428.9	127.7	1.4	488.1	133.7	1.4
16	Irán	113.7	114.3	1.3	129.4	116.2	1.2
17	Arabia Saudita	139.3	111.0	1.2	158.5	114	1.2
18	Australia	397.3	109.9	1.2	452.1	112.9	1.2
19	África del Sur	133.5	107.0	1.2	151.9	109.2	1.2
20	Indonesia	125	97.9	1.1	142.2		
21	Holanda	152.3	87.5	1.0	452.2	89.0	0.9
22	Polonia	157.4	87.7	1.0	179.1	87.1	0.9
23	Taiwán		85.4	0.9	314.2		
24	Turquía	186.4	70.2	0.8	212.1		
25	Venezuela	87.3	61.9	0.7	99.3	61.5	0.7
26	Bélgica	252	63.9	0.7	286.8	60.7	0.6
27	Tailandia	121	63.0	0.7	137.7		
28	Uzbekistán		54.8	0.6	20.0	56.5	0.6
29	Argentina	276.1	59.2	0.6	314.2	53.5	0.6
32	Malasia	76.9	42.1	0.5	87.5	51.8	0.6
31	Egipto	86.5	49.0	0.5	98.4	50.3	0.5
32	Suecia	236.9	52.6	0.6	269.6	48.5	0.5
33	Noruega	149.2	41.7	0.5	169.8	42.9	0.5
34	Checoslovaquia	51.6	41.6	0.5	58.7	41.5	0.4
35	Emiratos Árabes		45.2	0.5			
36	Pakistán	62.9	43.4	0.5	71.6		
37	Kazajstán	18.7	43.1	0.5	21.3	38.9	0.4
38	Rumania	33	38.2	0.4	37.6	38.3	0.4
39	Singapur	95.4	39.1	0.4	108.6	37.1	0.4
40	Grecia	127.6	31.1	0.3	145.2	34.2	0.4
41	Austria	205.7	31.6	0.3	234.1	32.7	0.3
42	Suiza	273.8	24.8	0.3	311.6	29.6	0.3
43	Argelia	46.5	28.8	0.3	52.9		
44	Finlandia	127.7	26.3	0.3	145.3	26.6	0.3
45	Colombia	90	24.8	0.3	102.4	25.5	0.3
46	Portugal				125.3	24.1	0.3
47	Hungría	46.7	23.9	0.3	53.1	23.6	0.3
48	Filipinas	77.9	22.7	0.2	88.6	22.3	0.2
49	Bielorrusa	26.2	20.7	0.2	29.8	21.0	0.2
50	Eslovaquia					19.4	0.2

Construida con datos de : *Le Monde* <<BILAN DU MONDE>> (1999 A 2003)
BP Statistical Review of world energy (June 2002, June 2003).

Rusia, 3^{er} consumidor de energía, aparece en el lugar número 16 de entre las potencias del mundo. Su alto consumo se puede explicar en el hecho de tener una planta industrial altamente consumidora de energía, forjada en la época en que las preocupaciones por el abatimiento de los recursos energéticos y la contaminación no existían.

La situación puede extenderse a los países del exbloque socialista. Ucrania, consumidor de energía número 14, no aparece entre las primeras 50 economías del mundo. El único país del exbloque socialista que tiene un nivel de consumo que corresponde a su nivel de productividad es Polonia.

Consumo mundial de energía fósil

Teóricamente, debe existir una relación entre consumo de energía de origen fósil (petróleo, gas natural y carbón) y la liberación de productos de combustión a la atmósfera.

En la Tabla 4 se presenta el consumo de energía de fuentes primarias de origen fósil. Se puede observar que alrededor del 90 % de la energía primaria que consumen los primeros 50 países del mundo, es energía de origen fósil.

Si la eficiencia del quemado de estos combustibles fuera la óptima, y la misma en todo el mundo, el orden jerárquico de la tabla 4, correspondería también el orden de contribución de las emisiones a la atmósfera de CO_2 , NO_2 , CH_4 .

Una tonelada de carbón produce 3.667 toneladas de CO_2 ²⁵. A medida que la eficiencia en la combustión disminuye, aumenta la producción de CO que no puede ser procesado fácilmente por la naturaleza y es considerado un contaminante tóxico.

El orden de la tabla 4, es muy similar al de la tabla 3. Esto indica que los grandes consumidores de energía son también los grandes consumidores de energía de origen fósil.

Al 2001, los países industrializados en conjunto consumían el 52.3 % de la energía y producían 48.7 % de las emisiones de CO_2 , Los países del exbloque socialista consumían el 13.2 % de energía y producían el 13.7 % de CO_2 ; mientras que los países en vías de desarrollo, consumían 34.5 % de la energía y producían el 38.1 % de las emisiones de CO_2 ²⁶.

²⁵ Antes de la combustión sólo se tienen átomos de carbón (C) de masa 12. En la combustión cada C se combina con dos átomos de oxígeno (O), cada uno de masa 16, para dar CO_2 de masa 44. Es decir, de cada 12 unidades de C se producen 44 unidades de CO_2 , esto implica un factor de multiplicación de 3.66, que se puede aplicar a cualquier cantidad de carbón.

²⁶ World Energy and Economic Outlook, International Energy Outlook 2004, on line, www.eia.doe.gov/iea/, (Jan 2005).

Tabla 4. Consumo de Energía de origen fósil a finales del 2001, en Millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep).

	País	Petróleo	Gas Natural	Carbón	$E_{fósil}$	E_{total}	$\left(\frac{E_{fósil}}{E_{total}}\right)\%$
1	Estados Unidos	895.6	554.6	555.7	2005.9	2237.3	89.66
2	China	231.9	24.9	520.6	777.4	839.7	92.58
3	Rusia	122.3	335.4	114.6	528.8	643	82.24
4	Japón	247.2	71.1	103	421.3	514.5	81.89
5	Alemania	131.6	74.6	84.4	290.6	335.2	86.69
6	India	97.1	23.7	173.5	294.3	314.7	93.52
7	Canadá	88.0	65.4	28.9	182.3	274.6	66.39
8	Francia	95.8	36.6	10.9	143.3	256.4	55.89
9	Reino Unido	76.1	85.9	40.3	202.3	224	90.31
10	Corea del Sur	103.1	20.8	45.7	169.6	195.9	86.57
11	Italia	92.8	58.0	13.9	164.7	177.2	92.95
12	Brasil	85.1	9.8	14	108.9	173.6	62.73
15	España	72.7	16.4	19.5	108.6	134.6	80.68
14	Ucrania	12.7	59.2	39	110.9	131.1	84.59
15	México	82.7	30.4	6.3	119.4	127.7	93.50
16	Irán	54.2	58.5	0.8	113.5	114.3	99.30
17	Arabia Saudita	62.7	48.3			111	
18	Australia	38.1	20.3	47.6	106	109.9	96.45
19	África del Sur	23.0		80.6		107	
20	Indonesia	52.3	26.7	16.7	95.7	97.9	97.75
21	Holanda	43.9	35.3	8.4	87.6	88.6	98.87
22	Polonia	19.0	10.2	57.5	86.7	87.7	98.86
23	Taiwán	37.7	6.8	30.9	75.4	85.4	88.29
24	Turquía	30.4	14.0	20.4	64.8	70.2	92.30
25	Bélgica †	32.3	13.2	7.1	52.6	63.9	82.32
26	Tailandia	33.8	19.0	8.8	61.6	63.0	97.78
27	Venezuela	22.2	26.0			61.9	
28	Argentina	19.0	29.9	0.7	49.6	59.2	83.78
29	Uzbekistán	6.5	46	1.1	53.6	54.8	97.81
30	Suecia	15.6	0.7	2	18.3	52.6	34.79
31	Egipto	26.2	18.9	0.9	46	49	93.88
32	Emiratos Árabes	14.3	30.8			45.2	
33	Pakistán	18.9	18.1	2	39	43.4	89.86
34	Kazajstán	7.7	9.1	24.7	41.5	43.1	96.29
35	Malasia	18.6	19.4	2.4	40.4	42.1	95.96
36	Checoslovaquia	8.3	8.0	21.3	37.6	41.6	90.38
37	Singapore	36.9	2.3			39.1	
38	Rumania	10.1	15.8	7.7	33.6	38.2	87.96
39	Austria	12.4	6.6	2.7	21.7	31.6	68.67
40	Suiza	13.1	2.5	0.1	15.7	31.4	50.00
41	Grecia	19.4	1.8	9.5	30.7	31.1	98.71
42	Argelia	8.8	19.4	0.6	28.8	28.8	100
43	Finlandia	10.5	3.7	3.9	18.1	26.3	68.82
44	Chile	12.0	5.0	4	21	25.8	81.40
45	Colombia	9.9	5.5	2.4	17.8	24.8	71.77
46	Hungría	6.8	10.7	3.1	20.6	23.9	86.19
47	Filipinas	16.5	0.1	4.5	21.1	22.7	92.95
48	Bielorrusa	5.9	14.5	0.3	20.7	20.7	100
49	Kuwait	10.5	8.6			19.1	
50	Dinamarca	10.1	4.6	4.2	18.9	18.9	100

† Incluye Luxemburgo

Fuente: BP Amoco Statistical Review of World energy (June 2002).

La disparidad en la relación consumo de energía-liberación de CO₂, ponen en evidencia dos problemas:

- los países del exbloque socialista y en vías de desarrollo liberan mayores cantidades de contaminación por tener una planta industrial menos eficiente, en algunos casos al borde de la obsolescencia y más contaminante;
- pero, en efecto, los países industrializados, con alrededor del 15 % de la población mundial, liberan 48.7 % del CO₂.

Si tratara de atacar los problemas desde la raíz: los países desarrollados debieran reducir el consumo de energía y los países en vías de desarrollo debieran renovar su planta industrial.

IV.4 Consumo de energía *per capita*

Para disipar el efecto numérico de poblaciones muy grandes como China e India en la comparación del consumo de energía, es conveniente dividir el consumo total de un país entre el número de habitantes. Así se obtiene el consumo de energía por año por habitante o consumo de energía per capita (cepc).

En la Tabla 5, se presenta la clasificación del mundo en términos del consumo de energía per capita (cepc), para los años 1998, 2000 y 2001 y 2002.

Encabezan los primeros lugares de la lista tres países petroleros: Qatar, Emiratos Árabes y Bahrein. Les sigue Noruega, el tercer exportador de petróleo en el mundo. Se intercalan Canadá, Estados Unidos, Singapur, Islandia. Aparece luego Kuwait, otro país petrolero. Le sigue Luxemburgo en 10º lugar, el país "más rico del mundo", que no figura entre los 50 primeros consumidores.

En efecto, la posición de cada país en esta lista es reflejo de sus actividades productivas. Es evidente que la producción de petróleo es una actividad altamente consumidora de energía.

Luxemburgo, el país más rico del mundo, aparece en la posición número 10. No es un país petrolero, funda su poder económico en dos actividades centrales, una altamente consumidora de energía, la industria de aceros especiales, y la otra, todo lo contrario, las finanzas, con una gran rentabilidad fundada sobre todo en el papel actual de las finanzas en el mundo, en la oferta del secreto bancario y su ubicación en el corazón de Europa.

Rusia, Ucrania, 3º y 14º consumidores mundiales, pasan a los lugares 20 y 41 en la lista de cepc.

México, el 15º consumidor mundial, con un consumo de energía per capita igual a 1342 kilogramos equivalentes de petróleo, no aparece en la lista.

En una situación similar están China y la India, con un cepc de 784 y 315 kgep respectivamente.

Tabla 5.- Consumo de energía por año por habitante (cepc), en kilogramos de petróleo equivalentes (kgep)

	País	1998†	2000†	2001†	2002 □
1	Qatar			27734	19500
2	Emiratos Árabes	11567		10035	14485
3	Bahrein			9718	
4	Noruega	5439	5501	5736	9533
5	Canadá	7853,7	7930	7747	9313
6	Estados Unidos	7818,6	8076	7937	9227
7	Singapur	7162	8661	6285	9049
8	Islandia			9588	8667
9	Kuwait		8936	7823	8087
10	Luxemburgo			7775	7775
11	Bahamas	6864			
12	Bélgica	5167	5611	5719	5893
13	Australia	5215	5484	5600	5820
14	Países Bajos	4741	4800	4740	5563
15	Suecia	5736	5869	5928	5449
16	Arabia Saudita	4360	4906	5244	5403
17	Trinidad y Tobago	5381		6964	
18	Finlandia	5613	6435	6493	5115
19	Nueva Zelanda	4290	4435	4525	4718
20	Rusia	4079	4019	3963	4434
21	Francia	4150	4224	4378	4358
22	Corea del Sur				4217
23	Suiza	3571	3699	3742	4111
24	Austria				4037
25	República Checa	3776	3938	3986	4029
26	Japón	3964	4084	4035	4008
27	Alemania	4156	4231	4199	4007
28	Taiwan				3969
29	Irlanda	3196	3412	3570	3790
30	Reino Unido	3786	3863	3930	3672
31	Austria	3279	3439	3567	
32	Eslovaquia	3272	3198	3136	3593
33	Corea del Sur	3225	3834	3519	
34	Eslovena	2806		3354	
35	Estonia	3454	3811	3335	
36	Dinamarca	3918	3994	3925	3444
37	España	2639	2729	2865	3379
38	Grecia	2266	2435	2565	3196
39	Italia	2821	2839	2916	3024
40	Israel	3003	3014	3165	
41	Ucrania	3136	2960	2842	2725
42	Turkmenistán	3047	2615	2357	2636
43	Kazajstán	3337	2439	2590	2628
44	Venezuela	2158	2526	2433	2530
45	África del Sur	2405	2636	2681	2505
46	Hungría	2454	2492	2497	2360
47	Bulgaria	2724	2480	2418	2309
48	Polonia	2448	2721	2494	2257
49	Lituania	2291	2376	2524	2351
50	Bielorrusa	2305	2449	2614	2100

† Fuente: Le Monde <<BILAN DU MONDE>> (1999 A 2002)

□ Calculados a partir de: BP Statistical Review of world energy (June 2003).

Brasil, el 12º consumidor mundial de energía, con un consumo por habitante de tan sólo 1055 kgep, tampoco alcanza a aparecer entre los mayores consumidores.

El cepc es un criterio que refleja, la correspondencia entre el nivel de industrialización de un país y su población. En países con un alto consumo de energía, un cepc bajo, a menudo refleja una gran marginación social y económica de la población. Tal es el caso la India y de China, en menor escala de Brasil y México.

El cepc refleja también el tipo de industria y las condiciones geográficas de un país. Un cepc elevado, puede significar que se tiene una enorme industria en operación, o simplemente una industria altamente consumidora de energía, tal es el caso de los países petroleros; o bien que se tienen una industria importante y un clima extremadamente frío, tal es el caso de Canadá, y los países nórdicos como Islandia, Finlandia y Suecia. No pocas veces significa que se tiene una industria altamente consumidora de energía y/o al borde de la obsolescencia, tal es el caso de los países del ex-bloque socialista.

IV.5 Eficiencia en el consumo de energía

Para saber cuál consumo de energía está asociado a un nivel de desarrollo o de industrialización importante, y/o corresponde a un consumo medianamente eficiente, se puede establecer la relación entre la Producción Nacional Bruta por habitante (PNB *per capita*) y el consumo de energía *per capita* (cepc), con lo que se obtiene la relación entre la riqueza de un país y su consumo de energía.

En la *Figura 1* se presenta en forma gráfica el rendimiento energético para los primeros consumidores del mundo en el 2002.

Los países con más alto PNB *per capita* aparecen más arriba en la gráfica; mientras que los mayores consumidores de energía per cápita aparecen más a la derecha.

Se han remarcado en esta gráfica las líneas que corresponden a un rendimiento energético constante:

De izquierda a derecha, la primera de ellas, que pasa en la vecindad de Suiza, y Dinamarca, corresponde un rendimiento de 10 euros por kilogramo de petróleo equivalente (€/kgep).

La segunda corresponde a 7 €/kgep, pasa por debajo de Italia, Reino Unido, Alemania y Austria.

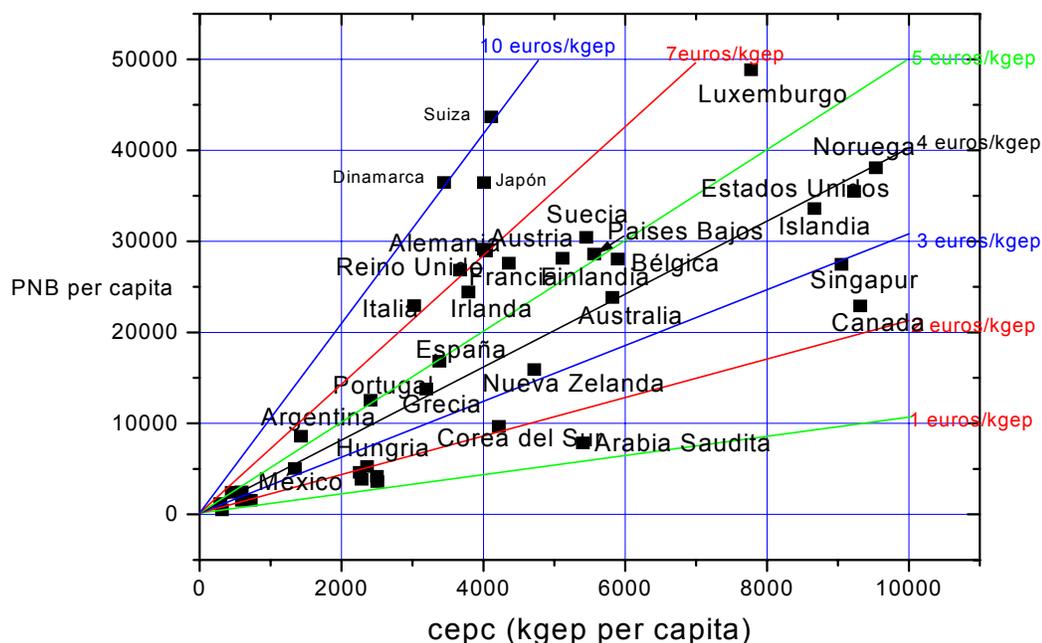
La tercera línea, pasa por debajo de Irlanda, Francia, Luxemburgo, corresponde a 5 €/kgep.

La cuarta caracteriza a Noruega y Australia, pasa ligeramente sobre Islandia, Estados Unidos, y México, corresponde a 4 €/kgep.

La quinta línea caracteriza a Singapur, corresponde a 3 €/kgep.

La sexta pasa por debajo de Canadá y Corea del Sur, Hungría, Egipto y Polonia, equivale a 2 €/kgep.

Figura 1. Rendimiento energético en el mundo en el 2002



Los países con más alto rendimiento son Suiza, Dinamarca y Japón. Controversialmente Luxemburgo, el país más rico del mundo, no tiene el más alto rendimiento energético. El grueso de los países europeos tienen un rendimiento entre 5 y 7 €/kgep.

México, con un nivel de producción por habitante de 5,052 € y un consumo de energía *per capita* 1,342 kgep, tiene un rendimiento similar al de Estados Unidos.

En general los países petroleros tienen un bajo rendimiento. Omán y Kuwait que deben tener rendimientos del orden de 2.5 €/kgep, son entre ellos los más eficientes. Le siguen Venezuela y Arabia Saudita que para 2002 aparecen con rendimientos de 1.7 y 1.5 €/kgep. Noruega (el tercer exportador en el mundo) cuya economía no es estrictamente petrolera, tiene un rendimiento de 4 €/kgep. Se reitera pues el carácter altamente consumidor de energía de la industria petrolera.

Intensidad energética

Dividiendo el Producto Nacional Bruto (PNB) por habitante en dólares entre consumo de energía *per capita* (cepc) en kilogramos equivalentes de petróleo (kgep), se obtiene lo que se llama *la intensidad energética* o la producción en dólares o euros que corresponde a una unidad de energía.

Sólo alrededor de 60 países tienen un rendimiento energético superior a 1 €/kgep. Estos países representan aproximadamente la quinta parte de la población mundial (22 %) y para alcanzar ese rendimiento consumen cerca de dos tercios (62 %) de la energía mundial.

En la *Tabla 6*, se presentan en orden jerárquico entre 1996 y 2002, los países cuyo cepc es superior a una tonelada equivalente de petróleo (1 tep). Todos estos países tienen un rendimiento energético superior a 1.4 euros por kilogramo equivalente de petróleo.

Con excepción del 2002, año en que se reporta el rendimiento en €/kgep, los datos están reportados en US\$/kgep. Este año, la fuente comenzó a reportar sus datos en euros, seguramente para remarcar el afianzamiento del euro como moneda internacional. En lugar de hacer la conversión preferimos reportar los datos de esta manera.

Se pueden observar algunas diferencias apreciables en el orden respecto a años anteriores. A *priori*, es lógico pensar que esto es simplemente reflejo del reposicionamiento monetario, derivado del deslizamiento del dólar frente al euro, al yen y a la libra esterlina. Entre los países que han remontado su rendimiento de manera importante, se destacan justamente Dinamarca, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia, Islandia y, notablemente, México.

La *primera posición* en la *Tabla 6* corresponde a Suiza, con una población de 7.2 millones de habitantes (*Mha*). Sin dejar de reconocer su inserción mundial en varias áreas productivas, entre los que se destacan la industria químico-farmacéutica, textil y en el comercio, esta posición se debe en gran medida a su histórica actividad financiera.

Las finanzas son actividades productivas que no requieren una gran tecnología ni un gran consumo de energía y permiten a los países industrializados aparentar un nivel de productividad y de eficiencia importante.

La *segunda posición* corresponde a Dinamarca con 5.4 *Mha*, una economía con una gran inserción en el mercado mundial, en línea ascendente con uno de los más altos niveles de vida. Aunque ciertamente su alto rendimiento es en buena medida reflejo del alto costo en su nivel de vida.

En *tercera posición* aparece Japón con una población de 127.1 *Mha*, que demuestra ser una economía eficiente e integral, con una producción altamente automatizada, apoyada en un sistema financiero sumamente consistente. Sin embargo, el alto rendimiento (9.1 €/kgep), de manera similar a Dinamarca debe tener una componente que corresponde al alto costo en su nivel de vida.

En *cuarta posición* aparece Italia, con sus 57.8 *Mha* bitantes, favorecido por un clima más benévolo en relación a los países del norte de Europa.

En efecto, más cerca de los polos, las actividades económicas de un país demandan más energía. La agricultura y en general la producción de alimentos es más difícil y menos variada, puesto que buena parte del año la luz del día se reduce a unas horas, y en invierno el suelo se cubre de nieve. En esos lugares, gran parte del consumo energético responde a la necesidad imprescindible de calefacción. En tales condiciones los países nórdicos Dinamarca, Suecia, Finlandia e Islandia deben

considerarse como economías eficientes en términos tanto de productividad como de consumo de energía.

Tabla 6.- Intensidad Energética de los primeros 50 países en el mundo

	País	1996†	1998†	2000†	2001†	2002‡
1	Suiza	10.84	12.43	10.37	10.26	10.6
2	Dinamarca	7.61	8.3	8.05	8.17	10.6
3	Japón	10.07	9.55	7.87	7.94	9.1
4	Italia	7.09	7.13	6.92	6.92	7.6
5	Alemania	6.69	6.8	5.99	6.10	7.3
6	Reino Unido	5.02	5.047	5.79	6.00	7.3
7	Austria	8.09	8.53	7.54	7.13	7.2
8	Irlanda	4.79	5.72	5.51	6.01	6.4
9	Luxemburgo	4.64			5.52	6.3
10	Francia	6.2	6.28	5.69	5.52	6.3
11	Argentina	5.17	5.7	4.34	4.37	6.0
12	Suecia	4.04	4.57	4.25	4.51	5.6
13	Portugal	5.35	5.4	5.16	5.03	5.2
14	Finlandia	3.45	4.29	3.67	3.81	5.5
15	Países Bajos	5.17	5.45	5.04	5.30	5.1
16	España	5.59	5.5	5.12	5.17	5.0
17	Israel	5.85	5.26		5.15	
18	Bélgica	4.85	5.11	4.38	4.31	4.8
19	Grecia	3.62	5.3	4.80	4.72	4.3
20	Brasil	5.1	6.57	4.16	4.12	
21	Australia	3.48	3.94	3.62	3.74	4.1
22	Noruega	5.29	6.63	5.91	5.84	4.0
23	Islandia	3.14			3.08	3.9
24	Estados Unidos	3.57	3.68	3.75	3.93	3.8
25	México	2.12	2.52	2.87	2.86	3.8
26	Nueva Zelanda	3.32	3.84	3.13	3.09	3.4
27	Singapur	3.30	4.6	2.75	3.84	3
28	Eslovenia	3.08	3.45		2.98	
29	Líbano	2.77	2.9	2.97	2.95	
30	Omán	2.01	2.63			
31	Chile	3.91	4.96	2.97	2.90	
32	Canadá	2.46	2.45	2.42	2.60	2.5
33	Kuwait	2.02				
34	Turquía	2.83	3.10	2.50	2.53	
35	Croacia	2.30	3.21	2.63	2.51	
36	Corea del Sur	3.25	3.27	2.19	2.41	2.2
37	Hungría	1.73	1.80	1.88	1.86	2.2
38	Polonia	1.16	1.46	1.46	1.63	2.1
39	Malasia	2.36	2.82	1.48	1.72	1.7
40	Bahamas	1.72	1.72			
41	Letonia	1.54	1.65	1.36	1.39	
42	Venezuela	1.38	1.6	1.42	1.51	1.7
43	Arabia Saudita	1.49	1.56		1.32	1.5
44	Emiratos Árabes	1.66	1.50			
45	Jordania	1.40	1.52	1.38	1.53	
46	Rep. Checa		1.37	1.28	1.26	1.4
47	África del Sur	1.47	1.41		1.18	1.4

Nota: se incluye sólo países con un cepc superior a 1000kgep
† : \$/kgep ‡ : €/kgep

Las posiciones de Italia, Portugal, España y Grecia son en buena medida favorecidas por su clima templado.

Omán y Kuwait aparecen en los lugares 33 y 36, son los primeros petroleros en la jerarquía del rendimiento energético. En 1996 la intensidad energética de Kuwait fue apenas superior a 2 US\$/kgep, de los siguientes años no se tienen datos, pero su rendimiento no pudo haber cambiado mucho. Emiratos Árabes en 1998 tuvo un rendimiento de 1.5 US\$/kgep. Arabia Saudita en 2002 tuvo una eficiencia de 1.5 €/kgep. Qatar y Bahrein tienen una eficiencia inferior a 1 US\$/kgep, por eso no figuran en la tabla anterior.

A pesar de la importancia del petróleo, los países petroleros finalmente tienen cuotas de rentabilidad de su producción muy baja y a cambio tienen un consumo energético elevado y en consecuencia niveles de contaminación ambiental elevados.

México, cuya intensidad energética es 3.8 €/kgep, tiene una posición mucho mejor que los países petroleros. Esto pone de manifiesto que la economía no es estrictamente petrolera. Su intensidad energética ha mejorado en los últimos años de manera sostenida. En el 1996 era apenas de 2.12 US\$/kgep, en el 2001 era ya de 2.9 US\$/kgep. El rendimiento del 2002, en buena medida debe ser resultado del reposicionamiento del precio del petróleo. De cualquier manera debe ser alentador, frente a la situación de otros países.

La *Tabla 6*, no puede tomar en cuenta la diferencia en el nivel del costo de la vida en cada país, ni el tipo de actividades productivas; es decir no evita la necesidad de tomar en consideración los diferentes niveles de vida entre países.

Hay una serie de países importantes que siendo consumidores relevantes de energía a nivel mundial no aparecen en esta lista por observar un muy bajo rendimiento energético. En tales condiciones están gran parte de los países del exbloque socialista, entre los cuales se encuentra Rusia y Ucrania que tienen un rendimiento de tan sólo 0.67 y 0.33 €/kgep (*Tabla 7*).

Casos especiales son China y la India que observan un rendimiento energético intermedio, teniendo un consumo de energía *per capita* bajo. China que con un cepc de 783.8 kgep tuvo una intensidad energética de 1.2 €/kgep. La India con un cepc de 314.7 kgep tuvo una intensidad energética de 1.6 €/kgep. El comportamiento de estos países se explica por la gran población. Esto habla bien de estos países.

Hay otro grupo que tiene un consumo de energía *per capita* bajo y sin embargo tiene altos rendimientos (*Tabla 8*). Es decir es un grupo de países eficientes en el uso de la energía, pero con consumo de energía insuficiente para brindar un buen nivel de vida a toda la población. Su intensidad energética es del orden del observado por varios países considerados de primer mundo o de desarrollo medio, como México, o de las llamadas economías emergentes, como Singapur. Sin embargo, el nivel económico de tales países dista mucho del de los países en vías de desarrollo. Entre estos se encuentra gran parte de los países de América Latina.

Adicionalmente hay países con un muy bajo *cepc* y a su vez con una muy baja intensidad energética. Esto es típico de países del tercer mundo, donde la energía muscular suele ser la fuerza motriz de la mayor parte de las actividades productivas. Por falta de datos no ha sido posible sistematizar información respecto a estos países.

Tabla 7. Países con alto *cepc* y baja intensidad energética en el (2001)

país	Cepc (kgep)	Intensidad (€/kgep)
Lituania	2291	0.97
Estonia	3454	0.96
Bielorrusia	2305	0.93
Macedonia	1308	0.83
Trinidad y Tobago	5381	0.79
Rumania	1941	0.73
Rusia	4079	0.67
Uzbekistán	2043	0.49
Bulgaria	2724	0.42
Kazajistán	3337	0.40
Mongolia	1045	0.37
Ucrania	3136	0.33
Azerbaiján	1735	0.29
Turkmenistán	3047	0.21

Tabla 8 Países con bajo *cepc* y una alta intensidad energética (2001)

país	Cepc (kgep)	Intensidad (€/kgep)
Uruguay	639	6.9
Costa Rica	617	4.5
El Salvador	410	4.4
Colombia	621	4.2
Filipinas	307	4.1
Marruecos	311	4.0
Panamá	678	3.6
Túnez	591	3.5
Tailandia	878	3.2
Ecuador	565	2.8
Bolivia	372	2.5
Indonesia	442	2.5
Georgia	342	2.5
Albania	314	2.4
Guyana	349	2.3
Gabón	587	2.3
Egipto	595	2.2

En síntesis, la intensidad energética, permite establecer las diferencias mundiales en materia de eficiencia energética.

IV.6 Paradojas en el consumo de energía

Los países industrializados tienen rendimientos energéticos que varían dentro de un margen relativamente amplio. La mayoría absoluta de los países europeos tiene un rendimiento energético que va de 4 €/kgep a 10 €/kgep. Esto habla de una disparidad entre ellos, que es aún más grande cuando se compara con el resto del mundo.

Surgen interrogantes tales como ¿cuál puede ser considerado un rendimiento energético óptimo? ¿Cuál un rendimiento modelo? ¿Cuál un rendimiento normal?

Se supone que una economía busca ser cada vez más rica para garantizar un mejor nivel de vida y de confort a su población. Si el rango entre el PNB per capita, para los países industrializados, varía entre 20,000 y 50,000 dólares por año por habitante ¿cuál es entonces el nivel de vida que podría considerarse normal?

En los últimos 50 años la electricidad y una serie de aparatos domésticos como la estufa, el refrigerador, la lavadora, el radio, la televisión, y el teléfono han llegado a ser esenciales para definir un mínimo vital. Otros aparatos que antes eran considerados de lujo, se están convertido en bienes cotidianos. Entre ellos están las secadoras, las lavavajillas, equipos de sonido, video grabadoras, los hornos de microondas, y recientemente las computadoras, conectadas a Internet en una buena proporción y los teléfonos móviles.

En algunos países de primer mundo la climatización es completamente accesible y es considerada como un gasto tan normal como la calefacción. En Europa, donde la climatización no había merecido atención sino hasta muy recientemente, se visualiza que el dotar de climatización a las empresas traería como resultado mayores rendimientos en la productividad.

En los automóviles, la climatización y las transmisiones automáticas se están convirtiendo en un equipo de base, aunque la eficiencia de los vehículos se vea reducida.

En otro orden de cosas, los hábitos de las personas han cambiado considerablemente. Fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial que las regaderas con agua caliente comenzaron a popularizarse. Para una gran fracción de la población de los hoy en día países desarrollados, los baños públicos eran el único medio de acceso al agua caliente. Hoy en día es de uso diario, no sólo para baño, sino también para las lavadoras y los quehaceres domésticos.

Evidentemente el aumento en el consumo de energía está asociado a la incorporación de más aparatos, a mayor espacio por persona, a mejores servicios, a la individualización y a la exigencia de más confort y menos trabajo.

Después de la Revolución Industrial, el carbón permitió reducir los inconvenientes relacionados con el transporte y el almacenamiento de la leña. Luego el petróleo permitió la popularización del automóvil —el depósito de gasolina permitió vehículos compactos y la autonomía entre ellos.

Si en todo el mundo se tuvieran las mismas posibilidades de acceso a la energía, indudablemente el consumo aumentaría.

Suponiendo que el consumo promedio mundial se elevara a 3.5 *tep* por año por habitante (equivalente al *cepc* de Dinamarca o España) para ser equiparado con un país desarrollado con un consumo moderado, el consumo mundial de energía se multiplicaría por un poco más de dos. Es decir, pasaría de los cerca de 10 mil millones de toneladas por año, a cerca de 21 mil millones. No hay capacidad tecnológica para producir esa cantidad de energía, pero si la hubiera, la liberación de productos de combustión al ambiente sería más del doble que la actual.

Sin duda los países pobres tienen sed de energía. El que tengan dificultades para acceder a ella limita el consumo mundial y la liberación de contaminación y es una contribución, completamente inconsciente, a la preservación del medio ambiente.

México, un país en vías de desarrollo, en el 2003 tuvo un *cepc* del orden de 1.3 *tep*. El promedio mundial fue del orden de 1.5 *tep*; es decir por debajo del promedio mundial. Habría que considerar que ese consumo no es homogéneo; la mayoría de la población tiene un *cepc* inferior al 1.3 *tep* —notablemente todos aquellos que viven en el umbral de la pobreza—. Si así está México ¿como estará el tercer mundo?

Pudiera pensarse que el mundo no necesita consumir más energía, que sólo bastará con que su consumo sea homogéneo. Pero, si es impensable un consumo homogéneo al interior de un país, más impensable lo será a nivel mundial. La gente, acostumbrada a un cierto confort, no piensa en modificar su estilo de vida.

Teóricamente debiera haber un límite de consumo de energía: el consumo de energía de cada individuo estaría restringido a las actividades que es capaz de realizar. El problema es que el consumo no está limitado a la capacidad de utilización, entre otras cosas porque cada persona no sólo consume energía de manera directa y porque su consumo va más allá de sus necesidades.

Hay en la sociedad una serie de servicios, operando en permanente, que consumen energía aunque no se estén usando directamente. Adicionalmente ¿que se hace con el dinero que se gana? Luego de pagar servicio, comida, vestido, transporte, educación, se gasta en otras cosas, las cuales requirieron energía en su producción. En un país desarrollado la capacidad de compra es mayor, puesto que los ingresos son mayores. Evidentemente no todo lo que se compra se está en condiciones de usar: se pueden tener más libros de los que se pueden leer, más de una televisión por familia, más aparatos y bienes de los que se pueden utilizar. Se puede ampliar la casa o comprar otra, tener más de un auto por familia. En consecuencia, es frecuente consumir más energía de la que se necesita, lo que implica que el consumo sea superior a un consumo hipotético normal.

Las actividades productivas, generan bienes y servicios, que indefectiblemente, consumen energía. El mercado traduce esos bienes y servicios en riqueza. Un país rico construye mejores carreteras, puentes, túneles, monumentos; impulsa una gran industria, ofrece servicios públicos de calidad. Los ciudadanos

tienen una capacidad de compra importante. Las actividades económicas en su conjunto, demandan más energía en función del nivel económico del país.

La inercia en el consumo mundial de energía es ascendente y la mayoría de los gobiernos, sobre todo los de los países industrializados tiene entre sus objetivos complacer esa inercia.

En el 2001 el presidente de los Estados Unidos George W. Bush anunció al mundo la negativa de su gobierno a firmar el protocolo de Kyoto, que pretende reducir las emisiones de CO₂ y prevenir con ello los cambios climáticos. A cambio prometió a su país la prosperidad, fundado en una política energética fuertemente anclada a la oferta y no a las restricciones del consumo.

Un país rico funda su riqueza en su nivel de industrialización y su condición en el mercado mundial. No hay país dispuesto a renunciar a la lógica del mercado, por el contrario, los países de desarrollo medio y los países pobres buscan alcanzar un mejor nivel. Esto pone de manifiesto que la demanda mundial de energía seguirá creciendo.

Persiste la pregunta ¿Cuál nivel de consumo puede ser considerado normal? Podría ser el promedio mundial, pero es prácticamente imposible modificar la tendencia mundial.

En el 2004, en Estados Unidos había en circulación 200 millones de vehículos. El consumo de combustible fue equivalente al 11% de la producción petrolera mundial. En el caso de México el 50 % del consumo nacional comprende gasolinas, el 11% diesel. Podría decirse que la clave puede estar en el diseño de políticas que reduzcan los desplazamientos de la gente.

Si bien es cierto que la energía es determinante de la capacidad de producción y proporciona confort, a cambio trae como detrimento la liberación al ambiente de cantidades enormes de contaminación y agotamiento de los propios recursos energéticos.

Más del 90% de la energía que se consume en el mundo proviene de la combustión de petróleo, gas natural, carbón, y madera. Se estima que al ritmo de consumo actual, las reservas probadas de petróleo en el mundo, la primer fuente primaria de energía, tendrán una duración de alrededor de 41 años, las de gas natural alrededor de 67 años y las de carbón 192 años. Lo que indica que el petróleo y el gas natural, cuya formación geológica tomo cientos de miles de años, están destinados a ser una fuente de energía, que la humanidad tiende a agotar en menos de dos siglos.

Todo ahorro de energía además de representar un beneficio económico, encierra en si un beneficio ecológico, al mismo tiempo que significa una contribución a la preservación de las fuentes de energía.

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha puesto mucho énfasis en la eficiencia energética. Así, las últimas generaciones de automóviles consumen menos combustible; los equipos electrónicos, cada vez más compactos y la miniaturización traen consigo un ahorro de energía; los científicos estudian nuevos materiales, los ingenieros buscan sistemas más eficientes, etc. Todo esto ha hecho que el consumo

de energía por habitante se haya reducido y permanezca estacionado en la actualidad.

El problema es que la población continúa en aumento del mundo; y que una gran fracción de la población, notablemente el tercer mundo no consume cantidades significativas de energía.

El sólo efecto poblacional, conduce a un aumento en la demanda de energía. Con una tasa de crecimiento conservadora de la población, de 1% por año, de los 6 mil millones de habitantes de 1999, la población mundial para el año 2020 ascenderá a 7 mil quinientos millones; es decir, se elevaría un 59 %. Con una tasa de crecimiento en el consumo de energía del mismo orden que el crecimiento en la población, las emisiones de CO₂ se elevarían 60%.

Los bosques y en general toda la vegetación, consume CO₂ y producen oxígeno, a través de la fotosíntesis. Empero, la naturaleza no puede tener la misma capacidad de respuesta a medida que los niveles de contaminación ambiental aumentan; debe quedar una cantidad residual, cada vez mayor de CO₂, que contribuye a incrementar el efecto invernadero. Si a eso se añade la desertificación, que a gran escala reduce la biomasa y por tanto la capacidad de transformación de CO₂, el problema deviene crucial.

El CO₂ es uno de los gases que contribuyen en mayor medida al efecto invernadero; tiene la propiedad de ser transparente a la radiación que proviene del sol —visible y ultra violeta (UV)— pero no permite, en forma normal, la retrasmisión hacia el espacio de la radiación infrarroja (calor). Con ello se da una acumulación de calor en la Tierra que paulatinamente se traducirá en el calentamiento global, del que tanto se habla.

La comunidad científica insiste en que el calentamiento global es inminente. Los cambios climáticos que se suceden cada vez con mayor frecuencia en diferentes zonas del planeta —inundaciones, temporadas de calor prolongadas, sequías extremas, etc., se consideran consecuencias del calentamiento global.

Por otro lado, otro sector de la comunidad científica, insiste en que las fuentes de energía fósiles no son infinitas y su agotamiento a mediano plazo es inminente.

Aunque la duración de las reservas fósiles pueda extenderse a más de 120 años, como lo predicen las previsiones más optimistas y/o menos alarmistas, ese tiempo es muy breve a la escala de la humanidad. Y además, es injustificable que los recursos energéticos que generó la naturaleza en más de un centenar de millones de años, la humanidad los extinga en tan sólo poco más de dos siglos.

No hay recurso más infalible, tanto para contribuir a la preservación del medio ambiente como a la preservación de las fuentes primarias de energía, que la reducción en el consumo de energía. Todo el mundo puede jugar un papel importante en ambos sentidos; el problema es que la solución depende en mayor medida de los países que más consumen.

Bibliografía de Referencia

1. Jacques Percebois, *Economie de l'énergie*, Ed. Economica, Paris (1989) p.p. 1-4.
2. *BP Statistical Review of world energy*, (1999-2004).
3. Energy Information Administration- Energy in the United States, <http://www.iea.doe.gov/emeu/aer/eh/eh.html>, (July 1998).
4. A.W. Culp Jr., *Principles of Energy Conversion*, International Student Edition, McGraw-Hill, (1979).
5. *Le Monde* <<BILAN DU MONDE>> (1995-2003).
6. Albert A. Bartlett, *Thoughts on Long Term energy Supplies, Scientists on the Silent Lie*, Physics Today, (July 2004).
7. World Energy and Economic Outlook, International Energy Outlook 2004, on line, www.eia.doe.gov/iea/, (jan. 2005).

V. Naturaleza de la energía

V.1 El concepto de energía

Definir la energía es tan difícil como definir el espacio y el tiempo.

La palabra energía se incorporó en la historia de la humanidad en una época relativamente reciente. A principios del siglo XIX, la palabra fuerza, reinaba aún en las ciencias, en la literatura, en la filosofía y en las artes. Siglo y medio antes, el filósofo alemán Leibniz (1646-1716) había introducido la denominación fuerza viva dejando ver que el concepto fuerza era bastante estático. Sin embargo fue en el siglo XIX cuando la palabra fuerza fue suplantada por la palabra energía que extraída de las etimologías latinas significa fuerza en acción. Esa nueva palabra tuvo su impacto en la cultura en general, llegando a ser evocada como una nueva categoría.

Aun siendo objeto de diversas disciplinas entre otras de la filosofía, el concepto de la energía, no ha alcanzado aun hoy en día a ser definido de manera satisfactoria. Está fuera de nuestros objetivos y de nuestro alcance el pretender discernir sobre el tema.

Independientemente de que puede o no definirse con precisión, la energía juega un papel esencial en la comprensión del mundo en que vivimos. Todas nuestras acciones y más generalmente todos los procesos físicos que tienen lugar en el universo ponen en juego intercambios de energía. No es necesario definir la energía para entender su significado y su papel en la sociedad actual.

V.2 Clasificación de la energía

La dificultad para definir el concepto de energía, se manifiesta en el hecho de que hay múltiples formas de clasificar la energía.

No existe una clasificación convencional de la energía. A menudo se habla de su origen, su importancia, sus usos, los efectos, e impacto, prescindiendo de una definición explícita. Es decir, la energía puede verse desde diferentes perspectivas o con diferentes enfoques. Todo esto trae consigo diferentes formas de clasificar el mundo de la energía:

De acuerdo a su origen las fuentes de energía son de tres tipos: cósmico — radiación solar, radiación cósmica y meteoritos—, terrestre —fósil, química, nuclear, geotérmica— cósmico terrestre —mareas y vientos—.

De acuerdo a su carácter, las fuentes de energía pueden caracterizarse en renovable o inagotables -solar, hidráulica, eólica, mareomotriz y geotermia- y no-renovables -petróleo, gas natural, carbón y uranio-.

De acuerdo a su dominio tecnológico las fuentes de energía se clasifican en: convencionales y no-convencionales. Análogamente, de acuerdo a su nivel de comercialización, a menudo se distingue entre fuentes comerciales y no comerciales. Las fuentes comerciales son las convencionales, las no comerciales las no-convencionales.

De acuerdo a las consecuencias de su uso, las fuentes de energía se pueden clasificar en: contaminantes -petróleo, gas natural, carbón, uranio y geotermia y no-contaminantes -solar, eólica y mareomotriz.

De acuerdo a su naturaleza, la energía se puede clasificar en seis clases: electromagnética, química, nuclear, mecánica -cinética y potencial-, eléctrica y térmica.

De acuerdo a su uso la energía se puede utilizar en forma de: calor, electricidad, radiación electromagnética -ondas de televisión y radio, microondas, rayos X- química, y mecánica.

Adicionalmente, con frecuencia se habla de fuentes primarias, fuentes secundarias, energía útil, etc., con lo que el mundo de la energía resulta ser muy complejo.

Y, en efecto, hay denominaciones que exhiben diferencias importantes. Hay tres formas diferentes de clasificar las fuentes de energía primarias:

Una clasificación considera como fuentes primarias, aquellas fuentes de energía o fuerzas de la naturaleza, que intervienen en el universo y son en el origen de las fuentes de energía útil (figura 1). Estas son: la radiación solar, la energía gravitacional, la geotermia y la energía nuclear.

Una segunda clasificación considera como tales, estrictamente las fuentes de energía comerciales útiles a la humanidad: el petróleo, el carbón, el gas natural, la hidroelectricidad, y la energía nuclear.

Una tercera, sería similar a la segunda pero agregando, la geotermia, la energía eólica, la energía solar, la biomasa, la energía de las mareas; es decir todas las fuentes convencionales útiles a la humanidad.

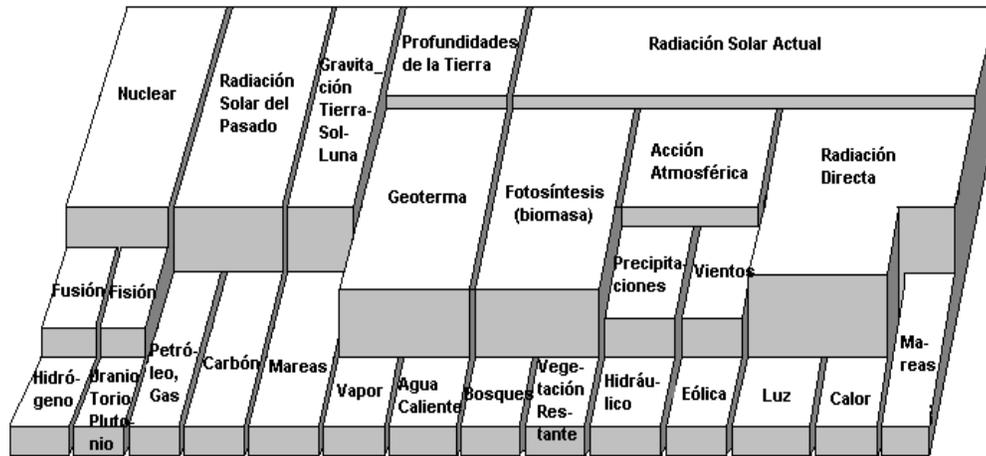
A menudo se utiliza la denominación de energías alternativas como equivalente de energía no-contaminante; se le utiliza también como sinónimo de energías renovables o inagotables.

A través del tiempo, como resultado de estudios de la naturaleza e impacto de la energía, las clasificaciones han experimentado un proceso de afinación:

Las plantas hidroeléctricas aunque no son contaminantes, puesto que no producen CO₂, traen consigo cambios al medio ambiente. La construcción de presas implica la modificación del flujo de los ríos, lo que trae como consecuencia la modificación del hábitat de un sinnúmero de especies, lo que indudablemente debe tener un impacto ecológico que no puede ser ignorado. En muchos casos es necesario desplazar poblaciones enteras; el caso más grande fue en China (1.5 Mha). Adicionalmente las presas tienen riesgos de ruptura; en la India la ruptura de la presa Morvi en 1979 causó 30,000 muertes.

Las diversas formas de clasificar la energía no son otra cosa que enfoques particulares de las mismas fuentes de energía. Cada clasificación encierra o pretende encerrar una forma de sistematizar o de enfatizar algunas de sus propiedades. Frente a la diversidad de forma de clasificar la energía, parece necesario entender, o estar familiarizado con las diferentes formas de clasificación.

Figura 1. Diferentes fuentes y formas de energía.



Fuente: Petit Larousse illustré, Larousse, (1984).

V.3 Estado base de la energía

La energía se presenta en dos formas, energía en movimiento o en transición y la energía almacenada o potencial.

La energía en transición comprende los procesos de transformación de una forma de energía en otra: la luz, el calor, el movimiento o energía mecánica, la electricidad, el magnetismo y el sonido.

La radiación solar, llega en forma continua. Su interacción en la Tierra es directa. Produce calor, como resultado de la interacción en la superficie de la tierra firme y de los océanos, y con las moléculas de atmósfera. Las diferentes formas de interacción de la radiación solar en la tierra inducen otras formas de energía; es una fuente de energía en continuo movimiento. Los vientos, son resultados macroscópicos de la transformación de la radiación en calor y de éste en energía cinética de las moléculas del aire. La formación de nubes, es el resultado de una sucesión de transformación energía: la energía solar aporta el calor de evaporación del agua; la circulación de la atmósfera a través de los vientos permiten el

desplazamiento de las nubes; en altitud las nubes poseen una enorme cantidad de energía gravitacional.

La Tierra contiene energía acumulada en forma de energía gravitacional, química, nuclear o geotérmica.

Todo cuerpo bajo la acción de un campo gravitacional, tiene una energía potencial gravitatoria, que se pone de manifiesto cuando se rompe el equilibrio estático. El vapor de agua de las nubes, cuando se condensa, cambia de condición y precipita en forma de lluvia. El agua desciende por los ríos bajo la acción de la gravedad. Las avalanchas y los derrumbes ponen de manifiesto la enorme cantidad de energía gravitatoria almacenada.

La Luna, por su parte aporta una cantidad importante de energía gravitacional a la Tierra. Es determinante de las mareas, que tienen oscilaciones muy variables que van desde unos cuantos centímetros, hasta cerca de 10 metros dependiendo de la latitud y en conjunto transportan cantidades enormes de energía. Las mareas constituyen una fuente de energía en movimiento.

La energía química hace posible que la materia esté constituida por moléculas. A priori puede decirse que entre más compleja sea una molécula más energía requirió para su formación. La fotosíntesis es un mecanismo mediante el cual se convierte la energía de la luz en energía química. Es el proceso mediante el cual los seres vivos poseedores de clorofila y otros pigmentos, captan luz y transforman el agua y el CO_2 en compuestos orgánicos reducidos (glucosa y otros), liberando oxígeno. Al conjunto de compuestos orgánicos formados se denomina biomasa, que es una forma de energía potencial química acumula de enormes proporciones, única en el universo.

Rigurosamente, todas las moléculas -o compuestos- naturales o artificiales, requirieron energía para formarse. La mayoría absoluta de ellos son estables, es decir no se descomponen en forma espontánea. Sin embargo la energía química, es fácilmente liberada de múltiples compuestos: la combustión es una reacción química, en la que la energía química se libera en forma de calor; en algunos materiales la energía se puede liberar en forma de una corriente de electrones o de electricidad — es la propiedad utilizada en las pilas eléctricas y baterías-.

La energía nuclear, hace posible que exista el núcleo de los átomos, mantiene unidos los protones y neutrones del núcleo de los átomos. Por poseer carga positiva los protones deben rechazarse unos a los otros. Pero el hecho de que coexistan en el interior del núcleo implica que debe existir una energía que contrarresta la repulsión eléctrica y al mismo tiempo mantiene asociados a los neutrones; esta es la energía nuclear. Se pone de manifiesto de manera espontánea en la radiactividad —la emisión de partículas alfa, partículas beta, radiación gamma— y se libera en forma artificial al inducir reacciones nucleares: fisión, fusión y la propia activación.

La energía geotérmica, es esencialmente energía térmica proveniente del interior de la corteza de la Tierra. Se manifiesta como vapor o agua caliente y es liberada en la forma de fumarolas, géiser y erupciones volcánicas. La energía geotérmica no proviene del enfriamiento del núcleo de la Tierra, ésta ya se hubiera

enfriado hace mucho tiempo. Proviene de la energía de desintegración de isótopos radiactivos contenidos en el núcleo —uranio, torio, potasio y sus descendientes. En cierta manera pudiera ser considerada como una forma de energía nuclear.

V.4 Energía útil

A la energía de la naturaleza —en transición o potencial— que puede ser utilizada por el hombre se le llama energía útil.

Combustibles

Con excepción de la geotermia los materiales que almacenan energía útil, son llamados combustibles.

Los combustibles fósiles son el carbón el petróleo y el gas natural. Fueron generados a partir de la descomposición de organismos de origen vegetal y animal depositados en rocas sedimentarias en ambientes sometidos durante decenas de millones de años a enormes presiones y elevadas temperaturas, experimentando lo que en síntesis se puede llamar un proceso de fosilización.

En esencia, los combustibles fósiles fueron generados a partir de biomasa. Esta a su vez tuvo como punto de partida la fotosíntesis. La radiación solar es entonces la fuente de energía de la fotosíntesis en la Tierra, por ende de la generación de biomasa en el presente, y de la generación de los combustibles fósiles (en el pasado).

Por su parte, los materiales que almacenan energía nuclear se les llama combustibles nucleares.

Los combustibles fósiles —el petróleo el carbón y el gas natural— constituyen, entre las fuentes de energía acumulada en la Tierra, la fuente de energía más accesibles y utilizadas en la sociedad actual. En el 2003, los combustibles fósiles, aportaron el 87.7 % del consumo mundial de energía. El restante 12.3 % fue provisto fundamentalmente por la energía nuclear y energía hidroeléctrica, ambas en proporciones muy similares (§ II.1).

Fuerzas de la naturaleza

Existen diversas fuentes naturales de energía que tienen una gran importancia como fuentes primarias de energía útil a la humanidad, ellas son la energía hidráulica o hidroenergía, la energía eólica, la energía de las mareas, la energía solar y la geotermia.

Las plantas hidroeléctricas aprovechan, la energía gravitacional del agua de los ríos —previamente retenida en presas, para concentra mayor cantidad de agua y de potencial gravitatorio y su aumentar el caudal— para generar electricidad; el flujo del agua es la fuerza motriz que acciona una turbina. La hidroelectricidad aporta alrededor del 6 % de la energía primaria a nivel mundial. A mediana escala —microhidráulica— sigue el mismo principio; los molinos de agua, aprovechan la fuerza gravitacional de flujos de agua naturales —arroyos, canales y riachuelos— para producir energía mecánica que permite remontar diversos materiales (la propia agua, granos, etc.) o producir electricidad a pequeña escala.

Los vientos, pueden utilizarse tanto para generar energía mecánica como energía eléctrica. Dos ejemplos clásicos de la conversión de la energía de los vientos en energía mecánica son: los veleros y los molinos de viento. Por su parte, los generadores eólicos permiten su conversión en energía eléctrica. En esencia son de naturaleza mecánica. En los últimos años la energía eólica se ha desarrollado en forma explosiva; en el 2004 representó alrededor de 0.6 % del total de energía primaria que se consume en el mundo. Su potencial es aún muy grande. Una de las grandes ventajas es que se trata de energía renovable (§ III.5).

La energía solar es de naturaleza electromagnética. La energía solar que llega a la Tierra alcanza intensidades del orden de 1 KW/m^2 , sobre una superficie expuesta en forma perpendicular. El problema es que esta potencia no es continua: no hay sol por las noches, durante el día puede cambiar de intensidad abruptamente por la presencia de nubes y durante el año varía con las estaciones del año.

Adicionalmente los captadores solares no pueden recibir los rayos del sol en forma perpendicular al menos que estén provistos de sistemas de automatización costosos y complicados. Y por si fuera poco las celdas solares más eficientes pueden captar máximo un 15 % de la energía que reciben. Aun así, mediante colectores solares se puede aprovechar la energía solar para calentamiento o precalentamiento de agua de uso doméstico. Se puede también aprovechar para generar electricidad mediante celdas fotovoltaicas. La tecnología aun es cara: en el 2002 en Francia el kWh se estimaba en 20 centavos de euro; sin considerar gastos de importación de los paneles, en México esto implica un precio del orden del doble del kWh comercial.

En lugares donde las oscilaciones entre las mareas altas y bajas son grandes (> 5 m) potencialmente es posible aprovechar las mareas para producir electricidad mediante plantas mareomotrices. Esencialmente éstas consisten de un dique construido en el mar, comunicado por turbinas reversibles. Cuando la marea es alta el flujo del agua del mar hacia el interior del dique acciona las turbinas en un sentido; cuando la marea es baja, el flujo hacia el mar, acciona las turbinas en sentido inverso. Aunque el potencial de energía mareomotriz en el mundo es relativamente pequeño, su potencial no es despreciable en aquellos lugares donde las oscilaciones de las mareas son adecuadas, sobre todo porque se trata de una fuente de energía inagotable.

La geotermia, en baños termales, se ha usado por el hombre desde hace miles de años. Pero es hasta en épocas relativamente recientes que se le utiliza para calefacción y producción de electricidad; el primer pozo de vapor geotérmico fue

perforado en Larderello Italia en 1904. Su aprovechamiento es posible en lugares donde el subsuelo contiene agua. Se considera una fuente de energía renovable y no contaminante. Alrededor de 80 países poseen recursos geotérmicos. En la producción de electricidad, los países con mayor desarrollo son Filipinas, Indonesia, Italia y Japón y México.

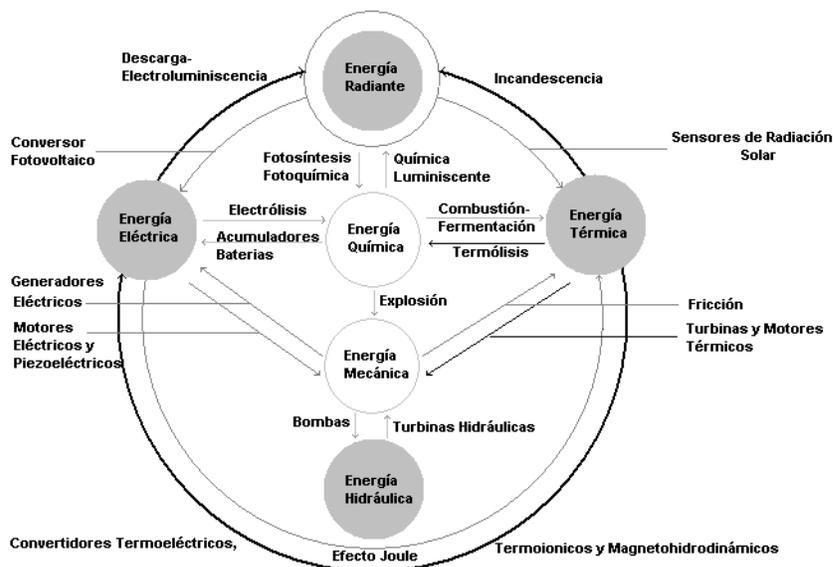
V.5 Conversión de las diversas formas de la energía

Las formas de energía explotable por la humanidad son: la energía térmica o calor, la energía química, la energía mecánica, la energía eléctrica, energía electromagnética y energía nuclear. En la *figura 2* se presentan los intercambios entre ellas con excepción de la energía nuclear.

La energía liberada o absorbida en reacciones químicas es reportada comúnmente en calorías o *BTU* (British Thermal Unit) por unidades de masa. Una caloría se define como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14.5 °C a 15.5 °C. Un *BTU* se define como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una libra de agua de 63°F a 64°F. Una caloría es equivalente a 4.186 Joules ($1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$); una *Kcal* equivale a 3.968 *BTU*.

El calor o energía térmica se manifiesta siempre como una energía en transición. Es un mecanismo de transferencia de energía de un cuerpo de mayor a otro de menor temperatura. Puede ser almacenado en forma de calor sensible o calor latente. El calor sensible esta acompañado por el incremento en la temperatura de un cuerpo o sistema. El calor latente es energía que se puede almacenar o liberar

Figura 2 Conversión de las diferentes formas de energía explotable



Fuente: Grand Dictionaire encyclopedique Larouse (1983)

en un cuerpo durante un cambio de fase: la fusión de un sólido o (el proceso inverso) la congelación de líquido y la evaporación de un líquido o (el proceso inverso) la condensación de un vapor.

El calor resulta de la liberación de energía química, y de la fricción o choque entre dos objetos y se transfiere por conducción y por convección. En la conducción está asociada con las vibraciones atómicas y moleculares y con la convección energía cinética de las moléculas en estado líquido y gaseoso. Teóricamente la energía térmica puede convertirse en cualquier otra forma de energía y viceversa. Por ello se le puede considerar como una energía de base.

Energía mecánica y trabajo

La energía que permite efectuar un trabajo mecánico, se le llama energía mecánica. De ahí que a menudo, trabajo y energía se utilizan como sinónimos.

Puede presentarse como energía potencial o como energía cinética.

La energía *potencial* es la energía que posee una cantidad de masa como resultado de su posición en un campo de fuerza. Esto incluye la energía gravitatoria, la asociada con un fluido comprimido, la asociada con la posición de las sustancias ferromagnéticas en un campo magnético y la energía asociada con la tensión elástica, como los resortes y barras de tensión.

La energía *cinética* es la energía asociada al movimiento de un objeto o masa de material, sea cual sea su estado. Los ejemplos clásicos son un proyectil, un automóvil, un avión,... un planeta..., pero en todo rigor todo sistema en movimiento posee una energía cinética. Debe agregarse a la lista de ejemplos, el movimiento de todo tipo de fluidos: el flujo del agua —en un ducto, en un arroyo, en un río o en el propio mar— o el del aire en la atmósfera, etc. El concepto de energía cinética se aplica también al mundo molecular, al mundo subatómico —protones, neutrones, electrones, etc.—.

Los molinos de viento son ejemplo de sistemas que aprovecha la energía cinética de las moléculas del aire y lo transforma en trabajo mecánico, que puede permitir el transporte de materiales (agua, granos, etc.).

La energía mecánica es una forma muy útil de energía y puede ser fácil y eficazmente convertida en otras formas de energía.

La Energía Eléctrica

Las cargas eléctricas (electrones) puede ser almacenadas acumuladas en un dispositivo —un condensador que puede ser tan simple como una esfera— induciendo la generación de un campo electrostático; o pueden hacerse pasar por un conductor, o una bobina induciendo un campo electromagnético.

Tanto la energía eléctrica, es una forma muy versátil y útil de energía porque puede ser fácilmente convertida en otras formas de energía. Puede transformarse en energía mecánica, puede utilizarse para crear campos magnéticos, o para producir radiaciones electromagnéticas —luz, microondas, calor, etc.— y utilizarse en muchos diversos aparatos o dispositivos.

A escala doméstica e industrial la electricidad normalmente se cuantifica en unidades que combinan la potencia con el tiempo: kilowatt-hora (*KWh*), megawatt-hora (*MWh*).

La Radiación electromagnética o energía electromagnética

Es una forma de energía asociada a los fotones o cuantos, entidades físicas de masa tan pequeña, que a menudo se da a entender que se trata de energía pura. Existe como energía en movimiento o energía de transición. En el vacío la velocidad de todo fotón es $c \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, o sea a la velocidad de la luz.

La radiación electromagnética comprende la luz visible, la radiación infrarroja (IR), las microondas, las radio-ondas... las radiaciones ultravioleta (UV), los rayos X, la radiación gamma..., formas de energía naturaleza similar que en conjunto integran el espectro electromagnético.

La energía de la radiación electromagnética, es directamente proporcional a la frecuencia ν de la radiación y está dada por la siguiente relación:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

donde: E es la energía en joules (J).

$h = 6.6256 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, es la constante de Planck's

ν es la frecuencia

λ es la longitud de onda

y c es la velocidad de la luz.

De acuerdo al SI la frecuencia se mide en ciclos por segundo o hertz, abreviado Hz, y la longitud de onda en metros. Como ésta en general es muy pequeña normalmente se utilizan submúltiplos, tales como micrómetros (μm) o nanómetros (nm).

La ecuación anterior pone en evidente que la energía de la radiación electromagnética es mayor para longitudes de onda cortas o altas frecuencias.

La radiación gamma es la forma más energética de la radiación electromagnética. Esta proviene del núcleo atómico de ciertos isótopos. En orden decreciente le siguen los rayos X, que son producidos como resultado del frenado de partículas cargadas de alta energía. Le siguen la radiación ultravioleta (UV) y la luz o radiación visible, que resultan de excitaciones de electrones. Posteriormente se encuentra la radiación térmica o infrarroja que es producida como resultado de vibraciones atómicas.

Luego se encuentran las microondas, las ondas de televisión y de radio. Todas estos tipos de radiación comprenden el espectro electromagnético.

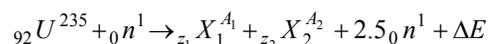
Comúnmente en Física de Radiaciones, Física Atómica y Física Nuclear, la unidad de energía por excelencia es el electrón-volts (eV). Por definición, se establece que un eV es la energía que adquiere un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial de un Volt. Su equivalencia en el Sistema Internacional de Unidades es: $1 eV = 1.6 \times 10^{-19} J$. La energía de las radiaciones electromagnéticas se reporta en electrovolts (eV) o múltiplos, tales como: un KeV (kilo electrón-volts) que equivale a mil eV, o un MeV (mega electrón-volt) que equivale a un millón de electrón-volts.

La energía de la radiación gamma es del orden de los MeV, la de los rayos X del orden de los KeV, la de la radiación ultravioleta y visible del orden de los eV...

La energía nuclear

Existe en forma de energía potencial. Es la energía que mantiene unidos los protones y neutrones del núcleo de los átomos. Los protones con su carga positiva deben rechazarse unos a los otros; el hecho de que existan juntos en el interior de un núcleo implica que debe existir una energía que contrarresta la repulsión eléctrica y al mismo tiempo mantiene asociados a los neutrones; esa es la energía nuclear. Como ya se dijo, ésta, o mejor dicho una fracción de ella, se pone de manifiesto cuando se induce alguna de las reacciones nucleares fisión, fusión, y radiactividad.

La reacción de fisión es el principio bajo el cual funcionan los reactores nucleares. En las reacciones nucleares de fisión (*figura 3*) cada núcleo fisible tal como ${}_{92}U^{235}$ o el plutonio ${}_{94}Pu^{239}$ al ser bombardeado por un neutrón, se rompe en dos núcleos más ligeros llamados —fragmentos de fisión— que poseen gran energía cinética y junto con ellos se liberan en promedio 2.5 neutrones —a los que se les llama neutrones de fisión—.



adicionalmente se libera radiación gamma, partículas beta y neutrinos, que no aparecen en la ecuación.

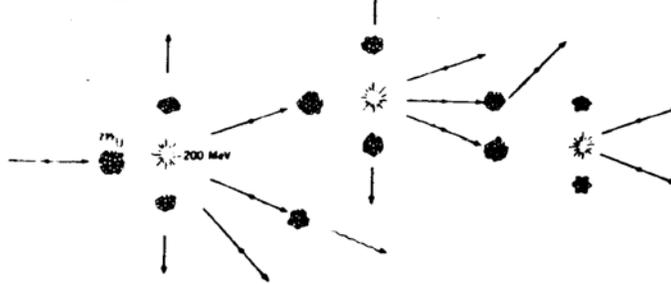
ΔE representa la energía de fisión, que es liberada en forma de energía cinética de los fragmentos de fisión y de la energía tanto electromagnética como cinética de las radiaciones: $\Delta E \cong 200 MeV$.

La emisión de los neutrones de fisión, permite producir más fisiones al incidir sobre otros núcleos de uranio y de estas fisiones se liberan nuevos neutrones y así sucesivamente. A la sucesión de reacciones de fisión que es posible sostener con los neutrones de fisión producidos en previas fisiones, se le llama reacción de fisión en cadena.

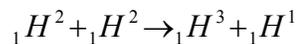
De manera similar a las radiaciones, la energía de las reacciones nucleares, se reporta en eV o mejor dicho en KeV y MeV.

Una sola reacción de fisión libera del orden 198 MeV de energía teóricamente recuperable. Un gramo de U^{235} contiene 2.56×10^{21} núcleos. En caso de que todos los núcleos de ese gramo de uranio se fisionen y se puede utilizar la energía de todas las fisiones correspondientes, se tendría un total de 5.12×10^{23} MeV (78.7 GJ), que equivale a la energía que se obtiene de 1.88 toneladas de petróleo. Esto expresa el poder energético de la energía nuclear.

Figura 3. Reacción nuclear de fisión en cadena



En la reacción de *fusión nuclear*, dos núcleos ligeros –usualmente los núcleos del hidrógeno ${}^1_1\text{H}^1$, deuterio ${}^2_1\text{H}^2$ y tritio ${}^3_1\text{H}^3$, se combinan para producir núcleos más grandes y más estables, liberando cantidades importantes de energía. Entre las reacciones de fusión típicas, la fusión de dos núcleos de deuterio:



produce 4.02 MeV de energía.

Las reacciones de fusión son el origen de la energía liberada en las estrellas y en el sol, donde la materia se encuentra en forma *plasma*, el cuarto estado de la materia. Este es un medio en el cual los electrones están desligados de los núcleos; ambos coexisten en una especie de enjambre de partículas.

Por su poder energético es ambicioso poder reproducir las reacciones de fusión en forma controlada y aprovechar en la Tierra con fines de aprovisionamiento energético. Sin embargo, aunque se han impulsado magno proyectos científicos con el objetivo de hacer factible su utilización, la fusión controlada está muy lejos de ser una realidad. Se imponen diversos problemas tecnológicos, entre otros, el hecho de que las reacciones de fusión se llevan a efecto a temperaturas extremadamente elevadas, del orden de los 100 millones de grados y es necesario confinar el plasma —deuterio y tritio—.

Existen dos métodos de confinamiento, uno consiste en utilizar un campo magnético muy potente que obligue al plasma a seguir una trayectoria helicoidal en un toroide y otro consiste en utilizar una botella magnética provista de dos espejos magnéticos en sus extremos. Temperaturas del orden de los 100 millones de grados ya han sido alcanzadas en un reactor Tokamak, pero no se han podido sincronizar con el campo magnético que pretende confinar el plasma.

II.6 La ciencia de la energía

Desde el punto de vista científico, la energía es estudiada por diversas disciplinas. Sin embargo, es la Física la disciplina que le dedica más atención.

La energía ha sido el objeto central en Física Clásica, en Termodinámica, en Transferencia de Calor, en Teoría Electromagnética.

La energía es fundamental en la Física Moderna, Astrofísica, Física Atómica, Física del Estado Sólido, Física Nuclear, Física de Partículas, La Mecánica Cuántica.

La Física, bien puede definirse como la ciencia de la energía:

La *Física Clásica* establece el carácter y las bases conceptuales de la física de la energía. La ley de conservación de la energía establece un carácter indestructible: *la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma*²⁷. Las transformaciones de energía potencial —gravitatoria, elástica, y eléctrica— en energía cinética, dan cuenta de ese carácter. A la Física Clásica también se debe el establecimiento de las unidades de energía y su incorporación en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

La *Termodinámica* en la *primera ley de la Termodinámica* reafirma del carácter indestructible de la energía, estableciendo, que *la energía debe ser conservada en cualquier proceso*. La Termodinámica define *el calor* como una forma de energía; las transformaciones de energía cinética en calor, de calor en trabajo, dan cuenta de ello²⁸.

La realidad muestra que los procesos, en general, pueden ocurrir de manera espontánea en un sentido pero nunca en sentido inverso. La primera ley es insensible a la dirección de un proceso. La *segunda ley de la Termodinámica*, por el contrario, establece que en todo proceso hay un aumento de *entropía*, resultado del aumento del caos o del desorden molecular. La *entropía* mide el grado de desorden microscópico de un sistema. La producción de entropía reduce la capacidad de un sistema para efectuar trabajo. Los procesos de transferencia de energía implican la producción de entropía y en consecuencia la degradación de la energía disponible en el universo.

Las centrales térmicas y los motores más eficientes pueden alcanzar rendimientos máximos del orden del 40 %.

La *Física Moderna* revoluciona completamente el concepto de energía. Albert Einstein, en 1922 postuló la equivalencia entre masa y energía, mediante la expresión:

$$E = mc^2$$

donde: E es la energía, m es la masa y c es la velocidad de la luz $c = 3 \times 10^8$ m/s.

²⁷ **Julius Von Mayer** formuló en 1842 *el principio de conservación de la energía*. **Herman Helmholtz** en forma más precisa enuncia en 1947 *la ley de conservación de la energía*.

²⁸ James Joule midió en 1847 el equivalente mecánico del calor.

El desarrollo teórico de la ecuación de Einstein establece que la suma de la masa y la energía deben conservarse en todo proceso. Las leyes de conservación de la energía y de la masa, de la Física Clásica, viene a ser casos especiales del principio de conservación de la masa y la energía de Einstein.

Utilizando la ecuación de Einstein, se puede verificar fácilmente que si una cantidad insignificante de masa se transforma completamente en energía, genera cantidades extraordinariamente grandes de energía. La conversión total de un gramo de uranio en energía permite producir $\approx 6,800$ KWh de energía eléctrica que equivale:

- a la electricidad que se utiliza por mes en 54 casa habitación con un consumo de 125 *KWh* (nivel de consumo intermedio) o 25 casas con un consumo de 250 *KWh* ;
- la energía térmica contenida en 1976 kilogramos de carbón; o en 1,880 kilogramos de petróleo.

En los procesos de conversión de energía, la masa neta que se convierte en energía, es prácticamente insignificante en relación al volumen de material combustible empleado.

Una planta de potencia o central térmica de carbón de 600 *MWe* operando continuamente, consume cerca de 220 toneladas de carbón por hora —cerca de 2 millones de toneladas de carbón por año—. Mientras tanto una planta nuclear de la misma potencia 600 *MWe* operando continuamente consume cerca de una tonelada de Uranio por año. En ambos casos, la masa real convertida en energía es alrededor de 640 gramos por año. Esto pone de manifiesto la diferencia en volumen de subproductos o desechos, en ambos procesos.

Pese a que en cualquier proceso una porción de la masa total de los reactivos se convierte en otra forma de energía, por lo general se omite hablar de la disminución de masa —o masa convertida en energía—. Sin embargo las unidades de energía dan cuenta del proceso de conversión.

Bibliografía de Referencia:

1. J. L. Bobin, H. Nifenecker et C. Stephan, *L'énergie dans le monde: bilan et perspectives*, EDP Sciences (2001).
2. A. W. Culp Jr., *Principles of Energy Conversion*, International Student Edition, McGraw-Hill, (1979).
3. *Energie, energies*, Les Cahiers Français, No 236, (mai-juin 1998).
4. R. A. Hinrichs, *Energy*, Sauders College Publisher, (1992).
5. P.F. Zweifel, *Reactor Physics*, McGraw-Hill Book Company (1973).

Epílogo: La Seguridad Energética y el Futuro Inmediato

Por: Atanasio Campos Miramontes[†]

La disputa por los recursos petroleros fue una constante a lo largo del Siglo XX, y el Siglo XXI; despunta preñado de conflictos y contradicciones que tienen como una de sus causas principales la creciente demanda, la inminencia del agotamiento de los yacimientos en explotación y su reemplazo insuficiente con descubrimientos de nuevas reservas. Más aun, actualmente asistimos a la agudización de la competencia global por las fuentes de hidrocarburos, misma que ha puesto a la orden del día la cuestión de seguridad energética para los países, tanto consumidores como productores.

El vector energético constituye un eje fundamental de la política exterior de los países de mayor peso económico y político, sean éstos importadores o exportadores de petróleo. Tal es el caso de Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, Rusia, China, Inglaterra, la India, los países miembros de la OPEP, Noruega, Mexico, y otros. Los países exportadores diseñan sus políticas económicas con base en presupuestos alimentados por cuantiosos ingresos petroleros, y conceptos tales como reservas probadas, volúmenes de producción, exploración de nuevos yacimientos, etc., figuran entre sus indicadores centrales. A su vez, los países altamente consumidores de petróleo, a través de sus compañías petroleras buscan denodadamente el control seguro y continuo a los yacimientos internacionales, especializándose además en el procesamiento de la materia prima y en el desarrollo de las costosas tecnologías que requiere el sector.

El impacto del factor petrolero en el sistema geopolítico mundial responde a causas geográficas, económicas, y militares.

Geográficas: a) se trata del recurso natural más demandado por la economía mundial, cuyas reservas probadas, a diferencia del carbón mineral y el gas natural, son las más limitadas; b) la mayor parte de éstas se concentran en unas cuantas regiones, y sólo algunos países son autosuficientes; c) la ausencia de reservas importantes en los territorios de principales países consumidores deriva en una aguda disputa por el control de los yacimientos.

Económicas: a) hoy por hoy es imposible el desarrollo de la economía y la civilización sin el petróleo; b) el sector petrolero es, sino el más, uno de los negocios

[†] *Atanasio Campos Miramontes*, es Primer Secretario del Servicio Exterior Mexicano y Responsable de las Relaciones con Noruega e Islandia de la Embajada de México en Dinamarca.

más rentables, así se trate de una empresa privada, estatal, o bien de todo un Estado que sustenta su desarrollo económico, estabilidad política y social en los ingresos derivados del petróleo; c) el sector petrolero es inherentemente internacional, y las empresas petroleras actúan en todos los países del planeta, realizando sus transacciones conforme a su propia lógica e intereses particulares; d) sensibilidad de la economía mundial a las variaciones en los precios del petróleo.

Militares: a) como fuente de combustibles el petróleo constituye un recurso estratégico; b) como instrumento de presión y amenaza, el petróleo es utilizado no sólo como objetivo de programas geopolíticos, sino también como instrumento de su realización (innumerables experiencias, exitosas y fallidas, dan testimonio de la utilización del factor energético para resolver conflictos internacionales), de ahí que la mayoría de regiones exportadoras y los corredores del transporte del petróleo se caractericen por conflictos recurrentes; c) el interés generalizado de todos los países por la seguridad y la estabilidad en el suministro de los hidrocarburos, así se trate de países productores o consumidores, poseedores de reservas o privados de ellas; d) la seguridad energética en general, y la seguridad de la esfera del petróleo en particular, constituye un componente fundamental de la seguridad global.

La influencia decisiva del factor petrolero en el diseño y la instrumentación de la política exterior de cada país —y de esta manera en todo el sistema de relaciones internacionales y en la seguridad global y regional— depende directamente de su capacidad para garantizar el suministro de ese estratégico recurso energético. Entre los criterios que determinan el grado de capacidad de un país para garantizar el suministro de petróleo figuran: el volumen de las reservas, la extracción y su costo, el grado de autosuficiencia, el número de abastecedores, la situación geopolítica y el grado de riesgo político en las regiones de producción y transporte, y el poderío geopolítico. Desde esta perspectiva, y a partir del análisis de este libro, es factible establecer la siguiente tipología de países:

1. *Países con muy bajo nivel de autosuficiencia y alto consumo de petróleo.* En este grupo destacan Japón y la mayoría de los países de Europa Occidental (con excepción de Noruega, Gran Bretaña, y Dinamarca), que sin contar con importantes reservas de hidrocarburos mantienen un alto nivel de consumo y, por lo tanto, son altamente dependientes de suministros externos, provenientes principalmente de la inestable región del Medio Oriente. Estos países, por separado, tienen poco peso geopolítico y escasa capacidad para garantizar por sí mismos los suministros para cubrir sus necesidades, y sólo actuando en conjunto (como Unión Europea, por ejemplo) consiguen ejercer determinada influencia en los países productores y exportadores de petróleo. Por un lado, realizan importantes esfuerzos en el ahorro de energía, en el desarrollo de fuentes alternativas de energía y de tecnologías de bajo consumo energético, y en el traslado de las industrias altamente consumidoras de hidrocarburos a otros países; mientras que por otro, se esfuerzan denodadamente por diversificar los abastecedores y las vías de transporte (Noruega, Rusia, Norte y Occidente de África, etc.), todo ello con el fin de reducir su alta vulnerabilidad y dependencia energética. La política exterior de estos países tiende a ser más conciliadora y a

evitar la confrontación directa con los países exportadores de petróleo, dando preferencia a mecanismos políticos, diplomáticos, y económicos para consolidar su presencia en las regiones productoras de hidrocarburos.

2. *Países con un alto nivel de consumo y un nivel relativamente alto de producción de petróleo.* En este grupo destacan: Estados Unidos que importa más del 60% del petróleo que consume, la India (63%), China (30%), Brasil (25%). Si bien el nivel de dependencia energética de este grupo también es alto, los países que lo conforman gozan de una ubicación geográfica muy favorable que les permite tener un acceso diversificado, tanto a los yacimientos como a las vías de transporte del petróleo. Además, en el caso de Estados Unidos, su enorme poderío económico, político y militar le permite recurrir también a medidas de fuerza para garantizar los suministros necesarios. A su vez, China, la India, y Brasil, aunque en distintos grados, son potencias emergentes con una evidente vocación geopolítica.
3. *Países exportadores con un consumo relativamente alto de petróleo.* La autosuficiencia de estos países se basa primordialmente en altos niveles de producción, pero sus reservas probadas no son tan grandes. Así por ejemplo, se calcula que al ritmo actual de extracción, Rusia y México cuentan con reservas probadas para 20 años aproximadamente, mientras que Gran Bretaña, Dinamarca, Indonesia, y Canadá para 10 años. Si bien estos países impulsan una política de acceso diversificado a los mercados, y cuentan con suficiente margen de maniobra para actuar en el mercado petrolero internacional, sus políticas rara vez suelen ser coincidentes, dada su distinta ubicación geográfica y diferenciado peso geopolítico.
4. *Países con el más alto grado de autosuficiencia de petróleo.* A este grupo pertenecen básicamente los países miembros de la OPEP, que se caracterizan por poseer enormes reservas, grandes volúmenes de extracción, el más bajo costo de producción, y por lo general inmediato acceso al mar para su transporte a los centros consumidores. Como grupo de países, tiene capacidad de influir decisivamente en el mercado petrolero internacional, y por sus considerables recursos financieros detenta una posición geopolítica nada despreciable. Paradójicamente, el núcleo de este grupo, ubicado en los márgenes del Golfo Pérsico, es geopolíticamente muy vulnerable. En efecto, como muestra la serie de conflictos ocurridos en las últimas décadas en esa región, el grado de concentración de las reservas petroleras en esa zona, la torna centro neurálgico de los intereses de las grandes potencias consumidoras. Noruega es un caso aparte; si bien por las dimensiones de sus reservas y los volúmenes de extracción, también podría incluirse en este grupo, pero no así por los costos de extracción, dado que ésta se lleva a cabo en alta mar y mayormente en aguas profundas (Noruega es ejemplo casi único de país exportador de materias primas, pero basado en un alto desarrollo tecnológico propio).
5. *Finalmente, los países con un bajo consumo de petróleo y diferenciado nivel de producción.* Precisamente el bajo nivel de consumo les permite realizar exportaciones con un impacto relativo en sus economías. Tal es el caso de países

como Angola, Mozambique, Gabón, Guinea Ecuatorial, Ecuador, Kazajstán, Azerbaiyán, Turkmenistán, etc. En este grupo se ubican prácticamente todos los países petroleros emergentes, cuyas reservas no han sido plenamente exploradas. Las grandes compañías petroleras de los países consumidores cifran en estos países la esperanza de nuevas reservas en tierra firme, de ahí su interés por asegurar su presencia en los nuevos yacimientos. La debilidad, fragmentación, e incapacidad de estos países para coordinar sus políticas los supedita a las oscilaciones del mercado petrolero internacional, y los priva de la posibilidad de influir en éste.

La coyuntura actual, caracterizada por el alza continua de los precios de los hidrocarburos, es resultado de un prolongado periodo de insuficientes inversiones en exploración para reemplazar los yacimientos que se agotan con una explotación intensiva, derivada del aumento de la demanda.

Si a lo anterior se suma la emergencia desestabilizadora de lo que se ha dado en llamar terrorismo internacional, la coyuntura confluye con una variable de incertidumbre, conformándose así el ambiente ideal para todo tipo de apuestas especulativas. La desestabilización del mercado petrolero internacional se vuelve inevitable en un contexto, en el que interfieren "agentes extraños" al sector energético, tales como el terrorismo (real y/o ficticio), que actúan de la mano de los intereses especulativos. Así, las recientes amenazas atribuidas a al-Qaeda (la organización más inasible y todopoderosa en la historia del terrorismo internacional, dicho sea de paso), de realizar acciones en eslabones neurálgicos de la infraestructura petrolera de la región del Golfo Pérsico, con el propósito de "empujar" los precios del petróleo por encima de los 100 dólares por barril, puso al orden del día la seguridad energética. Pero no sólo de los países de esa región, sino y primordialmente de los países importadores.

Curiosamente, como muestra el autor del libro, las compañías que explotan una buena parte de los recursos petroleros del planeta, y que se han visto beneficiadas por el alza de los precios, en su mayoría son de los países importadores, que en teoría son los primeros afectados. El evidente intrincamiento de intereses tiende a profundizar la inestabilidad del mercado de hidrocarburos. De esta forma, el rezago en las inversiones del sector, el agotamiento de las reservas existentes, las invasiones militares de países petroleros como Irak, el terrorismo internacional, y los intereses especulativos conforman la actual coyuntura del mercado petrolero internacional con una clara tendencia alcista en los precios de los hidrocarburos.

Los precios actuales del petróleo, por encima de los 55 dólares por barril crudo Brent de referencia en Europa, estimulan el desarrollo de tecnologías para el máximo aprovechamiento de los yacimientos en declive (recuperación secundaria), y a la explotación de yacimientos de difícil acceso (en alta mar, en el Océano Ártico, etc.), tornándolos rentables. De acuerdo a estimaciones recientes, el 38 % de las necesidades actuales de energéticos son cubiertas con el petróleo, el 26 % con el carbón mineral, mientras que el 24 % con gas natural. No obstante, se prevé que para 2010 el gas pasará a ocupar la segunda posición.

Según los especialistas, precios por encima de los 60 o 70 dólares conducirán inevitablemente a la intensificación de la búsqueda de sustitutos del petróleo. Ya sucedió en el pasado cuando el petróleo reemplazó al carbón, y el desarrollo actual de la ciencia y la tecnología permite enfrentar con éxito el reto. El desarrollo es impulsado por las contradicciones que, al llegar su máxima tensión, desembocan en épocas de quiebra, resolviéndose en una u otra forma. Sin embargo, un proceso de esa envergadura y relevancia para la economía y política mundiales será largo y doloroso, con avances y retrocesos, toda vez que implicará la reestructuración y reconversión de la base tecnológica misma de la economía mundial. Si bien diferenciado, su impacto será generalizado. Asimismo, los altos precios de los hidrocarburos propiciarán la exploración y, por consiguiente, la incorporación de nuevas reservas, contribuyendo con ello a una cierta estabilización del mercado de hidrocarburos.

De cualquier manera, es claro que actualmente los precios apenas se ubican en un rango que estimula el consumo racional y las inversiones en innovación tecnológica por parte de las empresas; y desde una perspectiva meramente sectorial, los precios altos son preferibles a los precios bajos que conducen al despilfarro y a la falta de inversión. Evidentemente, una subida repentina en los precios, para ubicarlos por encima de los tres dígitos, podría colapsar la economía mundial.

Pero en una perspectiva a corto plazo, más que de un repentino agotamiento de reservas, un precio de tres dígitos por barril se tornaría realidad como resultado de: una continua caída del dólar y de un desenfreno especulativo. De continuar la caída del dólar, los problemas estructurales de la economía norteamericana - principal consumidor de petróleo en el mundo serán cada vez más serios; por el momento se trataría más bien de un alza nominal que real. En cuanto a los especulativos, la historia humana da cuenta de que el mercado no tiene corazón ni razón; su fuerza es la codicia y ésta es terca y desmemoriada. Marx en *El Capital*, al referirse con ironía al obrero que vende su fuerza de trabajo, decía "ha llevado al mercado su propio pellejo y no puede esperar sino una cosa: que se lo curtan".

Pero en una perspectiva de largo plazo, el Siglo XXI enfrenta ya el apremiante desafío de tornar realidad la clarividente visión del sabio ruso Vladímir Ivánovich Vernadski (1863-1945), quien vaticinara para finales del Siglo XX que la acción explotadora de la naturaleza por el hombre tendría graves consecuencias para la biosfera, de emprender la transición a la Noosfera, entendida como sistema que unifique, en dinámica armonía, la tierra, el cosmos, y el intelecto humano.

Copenhague, abril 15 de 2005.

Anexo

Prefijos:

k: kilo = 1,000 = 10^3

M: mega = 1,000,000 = 10^6

G: giga = 1,000,000,000 = 10^9

T: tera = 1,000,000,000,000 = 10^{12}

¹ *m: mil* = 1,000 = 10^3

Abreviaturas:

Sistema Internacional de Unidades: *SI*

metro: *m*

kilómetro: *km*

un kilómetro cuadrado: 1 *km²*

un barril de petróleo: 1 *b*

un millón de barriles: 1 *Mb*

mil millones de barriles: *mMb*

una tonelada : 1 *t*

un millón de toneladas : 1 *Mt*

una tonelada equivalente de petróleo : 1 *tep*

un millones de toneladas equivalente de petróleo : 1 *Mtep*

miles de barriles por día: *mil b/d*

millones de barriles por día: *Mb/d*

mil millones de *m³* : 1×10^9 *m³*

watt eléctrico: *W*

mega watt eléctrico: *MWe*

mega watt térmicos: *GWt*

giga watt eléctrico: *GWe*

kilocaloría: *kcal*

un electrón-volt: 1 *eV*

un millón de electrón-volts: 1 *MeV*

Unidad Térmica Británica: *BTU*

un Quad: 1 *Q*

dólares americanos: *US\$*

millones de dólares: *M\$*

miles de millones de dólares: *mM\$*

euros: €

millones de euros: *M€*

millones de habitantes; *Mha*

producto nacional bruto: *PNB*

producto nacional bruto per capita: *PNB per capita*

¹ En el texto se ha utilizado *m* como abreviatura del mil, por familiaridad. En la literatura normalmente no se designa mil millones de barriles como un *1Gb* (un giga barril), es mas familiar identificarlo como 1,000 *Mb* o 1 *mMb*. El caso del dinero es similar: mil millones de dólares no se designan por *1G\$* (un giga dólar), es mas familiar identificarlo como 1,000 *M\$* o 1 *mM\$*.

consumo de energía per capita: *cepc*
dólares por kilogramo equivalente de petróleo: US\$/kgep
euros por kilogramo equivalente de petróleo: €/kgep

Equivalencias:

1 *b* = 157 litros
mil millones de m^3 de gas natural ($1 \times 10^9 m^3$) = 6.29 *Mb*.
1 *tep* = 1.5 *t* de antracita = 3 *t* de lignito
1 *tep* = 7.33 *b*

Energía:

1 cal = 4.186 *J*
1 kcal = 4,186 *J* = 4.186 *kJ*
1 *Kcal* = 3.968 *BTU*
1 *kWh* = 3.6×10^6 *J*
1 *MWh* = 3.6 *GJ*
1 *tep* = 42 *GJ*
1 *b* = 5.73 *GJ*
1 *Q* = 1×10^{15} *BTU* = 1.06×10^{18} *J* = 2.5×10^{14} *Kcal*
1 *eV* = 1.6×10^{-19} *J*
1 *MeV* = 1.6×10^{-13} *J*

Potencia:

1 *W* = 1 *J/s*
1 *kW* = 1,000 *W* = 10^3 *W*
1 *MW* = 10^6 *W*
1 *GW* = 1,000 *MW* = 1×10^9

Constantes:

velocidad de la luz: $c = 3 \times 10^8$ m/s
constante de Planck's: $h = 6.6256 \times 10^{-34}$ *J · s*