



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

LA TRANSFORMACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO
PETROLERO AL GAS NATURAL- HIDRÓGENO
(EL CASO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN ECONOMÍA

PRESENTA:
ANA BÁRBARA BARRÓN AGUILAR

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS SANDOVAL RAMÍREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F. OCTUBRE, 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Estimados maestros:

Este trabajo representa la culminación de una parte importante de mi desarrollo profesional, por lo tanto, va dirigido a ustedes.

Gracias a todos y a cada uno de ustedes, la gran academia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Y a los libros que me ayudaron a no sentirme sola en estos años de estudio.

Agradecimientos:

Con especial respeto y cariño, al Dr. Luis Sandoval Ramírez. Que con su paciencia, su apoyo, su visión y experiencia docente, así como sus sabios consejos, me impulsó a la realización de este trabajo.

Con todo mi amor y cariño:

A María del Rocío Aguilar: Mamá gracias por todo el cariño, amor y apoyo que me has dado siempre, te amo.

A mi padre. Héctor: este trabajo culmina la educación tan libre que me permitiste en todo este tiempo y el disponer de tantos libros de ciencia a mi alcance, gracias por todo, recuerda que siempre he estado y estaré orgullosa de lo que eres.

A mis hermanos Brenda y Héctor: por su apoyo y comprensión, son lo más importante en mi vida.

A mis tías Alicia y Elizabeth: toda la vida estaré agradecida por el apoyo, cariño, comprensión para que pudiera cumplir esta meta, que realice siempre pensando en ustedes, y recuerden que son lo máximo para mí.

A mis Abuelos y a mis amigos que los quiero mucho.

ÍNDICE

Introducción	5
Capítulo I Antecedentes	9
1.1 La Madera y otras fuentes de energía	9
1.2 El Carbón Minera	17
1.3 El Petróleo	27
1.4 La energía hidráulica	36
1.5 La energía nuclear	39
1.6 La energía solar	43
Capítulo II Balance energético internacional: tendencias y perspectivas de los principales energéticos	47
2.1 Balance energético internacional	47
2.2 Tendencias y perspectiva	50
Capítulo III Gas Natural-Hidrógeno	63
3.1 Gas Natural y otros energéticos gaseosos	63
3.2 El Hidrógeno	74

Capítulo IV Los avances tecnológicos en la Industria automotriz y en la obtención de la energía eléctrica	79
4.1 La energía eléctrica	79
4.2 Las pilas de combustible	84
4.3 La industria Automotriz	87
Conclusiones	92
Anexo	96
Bibliografía	104

Introducción

Toda sociedad requiere de un modelo energético¹, pues a lo largo del desarrollo cultural del hombre, entre sus diversas manifestaciones, pocas han sido tan significativas como el desarrollo de las fuentes de la energía y su posterior utilización.

Es un hecho que la utilización de la energía es un fenómeno social complejo y que para entenderlo bien se requiere un análisis interdisciplinario que incluya tanto la ciencia económica como los métodos teóricos y analíticos de diversas disciplinas como Historia, Física, Ingeniería, Investigación de operaciones y ciencias administrativas; pues los modelos de sistemas de energía son formulados utilizando esto.

Desde épocas remotas el hombre aprendió que podía extraer la energía almacenada en los materiales orgánicos al quemarlos y utilizar ésta para calentarse, construir sus herramientas y elevar su nivel de vida en general. Así, gracias a la energía, las sociedades evolucionaron hasta llegar a la actual obtenidas mediante tecnologías de alta productividad.

Haciendo una sucinta revisión histórica, salta a la vista que la primera revolución industrial tuvo como condición necesaria una enorme ampliación de la base energética del aparato productivo mediante el uso de combustibles fósiles, principalmente el carbón mineral.

“Al estudiar la revolución industrial se hacen largos análisis de las máquinas de diversos tipos que se introdujeron tanto en la producción como en el transporte, la nueva organización del proceso de trabajo, etcétera (un ejemplo de ello es la máquina de vapor); pero se estudia en forma inadecuada la base energética que la hizo posible” (Cazadero, 1988).

¹ El presente trabajo está inspirado en los ensayos y tesis de Acevedo (1981), Cazadero (1988), y Sandoval (1997) y es una continuación de López Vancell (1977).

Cuando las sociedades industriales penetraron, a fines del siglo XIX, en una nueva revolución industrial, esto implicó la adquisición de una base energética también nueva cuyo centro de gravedad dejó de ser dominado por el carbón-madera y se sustituiría por el petróleo y la electricidad.

El petróleo y la electricidad por sus particularidades fueron la condición indispensable para que funcionara la nueva estructura económica. El petróleo posibilitó el motor de combustión interna que, a su vez, fue la base de los automóviles, camiones, locomotores de tracción diesel, barcos, aviones, etcétera.

Con el paso del tiempo las sociedades se dieron cuenta que las reservas de combustible no eran ilimitadas, como se pensó al principio y que no estaban distribuidas uniformemente y no podían al agotarse, ser fácilmente reemplazables con otro tipo de combustible o con nuevas tecnologías. Unidos estos factores el posible agotamiento de las fuentes, el alza del valor económico de los combustibles y las tensiones políticas internacionales dieron como resultado la crisis mundial de la energía².

Cuando se presentó esta crisis formular una política de energía se hace cada vez más necesario, debiendo estar respaldada esta política por modelos de investigación previa y relacionada estrechamente con la realidad social y económica de un país y con el desarrollo tecnológico a nivel nacional e internacional.

Esta política se torna urgente para todos los países con un cierto desarrollo; por esto la investigación y el análisis de modelos de sistemas de energía han cobrado una gran importancia en la resolución de este problema.

²Se presenta en el momento en el que el mundo en general y los países industrializados en particular incrementaron su dependencia del consumo de energía, siendo un hecho que las principales fuentes de esa energía, las reservas no renovables de la tierra, están siendo inevitablemente agotadas, además de que el medio ambiente natural de la tierra no puede asimilar fácilmente los productos de desecho del consumo de combustible fósil, dando lugar a niveles exagerados de contaminación.

En este trabajo se presenta una visión general del cambio del modelo energético mostrando en primer lugar los antecedentes de las fuentes de energía principales a lo largo de la historia, posteriormente se muestra el balance energético internacional así como las tendencias y perspectivas de los principales energéticos, finalmente, se detallan los avances científicos y tecnológicos en la industria automotriz y en la obtención de la energía eléctrica.

Una pregunta que ha surgido en esta investigación es el papel inminente de la electricidad, sabemos que es una forma de energía limpia y conveniente. Sin embargo el costo de su transmisión y distribución a los consumidores es muy alto, además del problema que presenta su almacenamiento, es decir no es la mejor ni la más práctica; por ello se ha incrementado el estudio de fuentes alternas de energía que a su vez sean de fácil almacenamiento y transporte. Entre estos combustibles sintéticos, el hidrógeno ha captado el mayor interés como medio potencial de energía para el futuro porque además de ser ecológicamente atractivo, como más adelante veremos, puede ser obtenido del agua, una sustancia abundante en la naturaleza.

López (2003) nos explica que el hidrógeno, no es una fuente de energía primaria, sin embargo, puede ser un transportador de energía altamente eficiente ya que puede usarse en situaciones donde la transferencia de electricidad es impracticable (p. 1).

Una forma que se ha considerado para la distribución del hidrógeno como combustible, es el mismo que se utiliza para la distribución del gas natural, por medio de conductos subterráneos. Además el hidrógeno es un elemento muy versátil ya que tiene el poder de satisfacer demandas de energía eléctrica y térmica en muy diversas condiciones; como por ejemplo la producción de calor mediante su combustión, o la generación de electricidad indirectamente a partir de energía térmica o directamente mediante celdas de combustible, como se verá más adelante.

Indudablemente el hidrógeno es un material peligroso por su inflamabilidad y esto ha dado lugar a que exista cierta preocupación sobre la seguridad del hidrógeno, a menudo designada “Síndrome del Hindenburg” por la célebre catástrofe del zeppelin así llamado. Esto es algo sobredimensionado, ya que manejado con todas las precauciones y equipo adecuado puede controlarse el riesgo. En todo el mundo se manejan grandes cantidades de hidrógeno con un alto grado de seguridad.

El agotamiento y el encarecimiento de la principal fuente: el petróleo, así como el cambio en el patrón de costos de la estructura productiva a nivel mundial, hace inevitable la transformación del sistema energético actual.

Capítulo I: Antecedentes

1.1 La madera y otras fuentes de energía

En los inicios de la humanidad, con el hallazgo del fuego natural (geiser, volcanes, etc.) y con su domesticación y dominio para ser más concretos, el hombre descubrió la energía y empezó a aprender cómo utilizarla. A partir de ese entonces, diferentes fuentes de energía y sus aplicaciones, han acompañado sus distintos momentos cruciales del desarrollo histórico social, ya sea en forma claramente formal o supuestamente encubierta.

Es percibida tal relación entre la historia de las fuentes de energía y la historia económica, que la afirmación de Marx que dice: “Lo que diferencia unas épocas de otras no es lo que se hace, sino cómo, con qué medios de trabajo se hace”³ y con cuál fuerza de energía se accionan los instrumentos, cómo se hace para que ellos a su vez lo realicen. El conjunto de las fuentes de energía o la prolongación de su uso y hegemonía relativa, definen a cada una de los estadios sociales de producción.

La inicial fuente de energía utilizada por la humanidad en su estadio primitivo fue la madera. El avance de la técnica de hacer fuego (basada en la frotación de dos piezas de madera) le permitió a los humanos del paleolítico, aprovechar originalmente la energía resultante de la combustión de la madera para protegerse del frío excesivo, para ver en la oscuridad de la noche, para alejar a los animales peligrosos y así mismo para asar carne y raíces. Consecutivamente, la creación de baldes de cuero y cestos impermeables, y luego de vajillas de cerámica (incluso en la fabricación de estas últimas, la leña proporcionaba la energía imperiosa para el cocido de barro), permitió su utilización en la cocción de alimentos.

³ Marx, Karl. El Capital, Tomo I, Vol. I, P. 218. Edit. XXI Siglo veintiuno editores.

El empleo de la madera, contrariamente a sus ventajas para la deglución y digestión de los nutrientes y sus resultados en el desarrollo fisiológico del paleolítico, no logró expansión si no hasta la edad neolítica, dado que para una sociedad nómada (basada en la recolección de frutas y en la caza) como lo era la paleolítica, le daba muchas dificultades transportar las vasijas precisas para realizar la cocción de alimentos.

El avance de la agricultura y del pastoreo, permitió al hombre del neolítico establecerse en una zona geográfica concreta. El surgimiento de la sociedad sedentaria, desarrolló la habilidad de la cocción de alimentos e inevitablemente en la producción de vasijas y recipientes de cerámica (aunque para ello, se emplearon técnicas muy rudimentarias, sustentadas esencialmente en la destreza manual). Con el incremento de estos hábitos de consumo y producción, al igual que con la construcción de viviendas, la función ejercida por la madera se incrementó de manera adyacente.

Al evolucionar la sociedad primitiva se desarrolló cuantitativamente la producción y el uso de la energía, no así en cambio progresó el aspecto cualitativo de las fuentes de energía, pues predominantemente tan solo se produjo la madera. Sin embargo, en esta etapa de organización social, se formaron los indicios para el uso de la energía animal en las faenas agrícolas, pues por un lado, se desarrolló la azada (instrumento precursor del arado) y por otro lado se domesticó a los animales y surgió la base ganadera correspondiente.

Por lo tanto, en esta etapa la producción de animales no se hacía con la prioridad de que tiraran del arado o arrastraran vehículos de rueda, ya que no hicieron su manifestación hasta la muy avanzada edad de los metales. Se puede mencionar que la energía cuya fuente es la animal, se empleó en la carga y transporte directo de sus productos.

Acevedo (1981) afirma que, en los comienzos de la historia de las fuentes energéticas, sus usos estaban relacionados directamente con el suministro de calor, con propósitos que principalmente se pueden identificar con el consumo más que con la producción, excepción hecha de su aprovechamiento en la producción de cerámica (p. 65).

El desarrollo de las fuerzas productivas, manifestada en las actividades agrícolas y ganaderas, y la llegada e incremento de los excedentes de producción, dieron por resultado que no se desarrollaran otras fuentes de energía y de darle a la energía otros usos. Así con el paso del tiempo, la sociedad primitiva decayó, dando inicio al modo de producción esclavista.⁴

Uno de los cimientos esenciales de la sociedad económica esclavista, lo fue la explotación de los metales en la producción de herramientas, armas, armaduras y demás. Un elemento concluyente para el inicio del desarrollo de la metalúrgica, lo tiene sin duda alguna la posibilidad de suministrarse de la energía calórica derivada de la madera y del carbón vegetal.

La fuente de energía resultante de los vegetales se empleó en la forja, beneficio, fundición, y aleación de los metales. Bernal (1972) dice que posiblemente en sus inicios se halló que: las pepitas de cobre nativo (al calentarse) podrían ser martilladas (más fácilmente) para formar piezas suficientemente duras, que servían para fabricar utensilios. Esta asociación de los minerales con las técnicas del fuego, condujo probablemente a los pasos siguientes: el tratamiento o beneficio de los minerales del carbonato de cobre y la fundición y vaciado del metal así producido (p. 72).

⁴ "... a diferencia de lo sucedido en el seno de las comunidades primitivas, las fuentes de energía en el esclavismo fueron aprovechadas básicamente en la producción y en el transporte, satisfaciendo las necesidades de la sociedad humana de la energía calórica y motriz. El desarrollo dentro de la esclavitud de nuevas fuentes y usos de la energía, y en general, el avance en el perfeccionamiento de los objetos e instrumentos de trabajo se hubiese podido lograr de una forma relativamente fácil, con el nivel de progreso alcanzado por la fuerzas productivas sociales esclavistas; sin embargo, las relaciones sociales de producción y distribución que conlleva intrínsecamente en su seno, obstaculizaron definitivamente las perspectivas ulteriores de progreso material". (Acevedo, 1981, p. 69).

Entonces, en la edad de bronce, al expandirse el uso del bronce, la energía de fuente vegetal dio el calor preciso para la elaboración de los procesos de utilización del mineral del cobre y del estaño, para su fundición y posterior aleación. En la época de Bronce, a pesar de que el uso de la energía de la metalurgia fue asombrosa, su utilización para estos fines se vio restringido por las dificultades que frenaron la expansión de la metalurgia del bronce, lo que radicaron como explica Bernal (1971) en que los yacimientos de cobre se encontraban distribuidos con poca concentración en lugares distantes e inaccesibles, y con los minerales de estaño estas condiciones se acentuaban más todavía...(lo que hacía imprescindible) un intercambio comercial a grandes distancias; con el consiguiente costo elevado del transporte primitivo (p. 130, 131).

El hallazgo y la producción de carretas de ruedas y de las embarcaciones de vela, diversificó el conjunto de fuentes de energía utilizables; entre ellas destacan: la energía eólica utilizada en la navegación, y la energía animal empleada en el transporte terrestre (se debe mencionar que este modo de transporte no pudo trascender hasta la edad media), y en el cultivo de las tierras agrícolas. El descubrimiento de la vela facilitó la utilización de la energía del viento con finalidades motrices con lo cual esto tuvo una enorme trascendencia, por establecer los inicios del empleo de la fuerza no animada a las necesidades humanas.

En el cultivo, la energía animal (habitualmente de los bueyes y asnos) se utilizó como fuerza de arrastre en el tiro de arado. La utilización de la energía animal, de la carreta y el arado facilitó enormemente que la agricultura se desarrollara en todas las llanuras abiertas, expandiéndose más allá de los límites de las antiguas civilizaciones, aumentó enormemente el excedente efectivo de los productos e hizo viables las importaciones cuantiosas de artículos extranjeros. La energía de los equinos se empleó principalmente en el transporte terrestre de personas y productos, como fuerza de tracción de las carretas y de los carros de rueda.

En la época de la edad de hierro, casi no se descubrieron o desarrollaron nuevas fuentes de energía, pero se intensificó su empleo y se multiplicaron sus usos, por resultado de la invención de la metalurgia del hierro y en razón al alto esparcimiento alcanzado por su utilización, esto debido fundamentalmente a que su materia prima principal: el mineral de hierro, es cuantioso en la naturaleza.⁵

Entre las innovaciones en las que se emplearon las energías vegetales sobresale el empleo de calor necesitado en la fabricación del hierro y en la forja de los diversos productos; también fueron elementales su desarrollo en la producción de vidrio soplado y en el cocimiento de tabique. De modo que, en contradicción a lo acontecido dentro de las sociedades primitivas, las fuentes de energía del esclavismo fueron empleadas fundamentalmente en la producción y en el transporte, satisfaciendo las necesidades de la sociedad humana de energía calórica y motriz.

El desenvolvimiento, dentro de la sociedad esclavista, de las nuevas fuentes y usos de energía, y de modo integral con el desarrollo de las innovaciones de los objetos e instrumentos de trabajo se hubiese podido desarrollar de un modo posiblemente más fácil, con el nivel de avance logrado por las fuerzas productivas sociales esclavistas; pero, las relaciones sociales de distribución y producción que conllevan inherentemente en su desarrollo, dañaron indudablemente las posibilidades dentro del progreso material.⁶

⁵ “En cualquier sitio donde hubiese bosque y mineral de hierro – o sea en casi todas partes- se podía obtener hierro, una vez que se conocía el proceso”. (Bernal, 1972, p. 175).

⁶ “Los conocimientos mecánicos y los logros del periodo helenístico hubieran sido enteramente suficientes para producir los principales mecanismos que dieron origen a la revolución industrial, la maquinaria textil de movimiento múltiple y la máquina de vapor, pero se detuvieron poco antes de llegar a este punto...”.Y prosigue de la siguiente manera: “...debido a la abundancia de fuerza de trabajo esclavo y la restricción del comercio a las clases acomodadas, los maestros manufactureros no tuvieron incentivos para dar el siguiente paso –la introducción de la maquinaria- y, por tanto, nunca surgieron las condiciones para el desarrollo de una revolución industrial”, que revolucionara a su vez las fuentes y las aplicaciones de la energía” (Bernal. 1972 p.p 239 – 244).

Acevedo (1981) explica que: las relaciones económicas esclavistas escollaron en un momento determinado a las fuerzas productivas en su evolución, y a la energía, en su diversificación de fuentes y usos. Esto fue así, porque cuando hubo incentivos para evolucionar la técnica, para avanzar en el aprovechamiento de las fuentes de energía, la abundante disponibilidad de energía humana proveniente de los esclavos, cohibió la expectativa tecnológica, y cuando la energía proveniente de los esclavos se hizo escasa, ya no existía dentro del modo esclavista de producción, alicientes para aplicar nuevas fuentes y/o utilidades energéticas (p. 70, 71).

El empleo significativo de nuevas fuentes de energía y de sus constantes innovaciones, que surgieron en la llamada Edad Media, fue viable mediante la formación del feudalismo, llevó así mismo condiciones que indujeron el progreso de la productividad del trabajo. Bernal (1972) lo explica de la siguiente manera: el papel que jugaron la injerencia del productor directo en la apropiación de la parte de su producto que no constituía la renta feudal, y de manera más específica, la escasez relativa de la mano de obra (que se dio durante el proceso de conversión de los productores libres y de los esclavos libertos a siervos), pues estas alentaron concretamente el desarrollo de técnicas más productivas, que tendieron a ahorrar fuerza de trabajo y consecuentemente a incentivar las fuentes de energía sucedáneas a la energía humana (p. 335).

Evidentemente el descubrimiento y la difusión de los molinos, constituyeron circunstancias de fundamental importancia, para el empleo de las fuentes y usos de la energía durante el feudalismo. El desarrollo en el empleo de los molinos trajo simultáneamente al apogeo del empleo de la energía derivada del agua y del viento. De tal modo, que estos, para múltiples procesos industriales se transformaron en las fundamentales fuentes de energía del Medievo.

La utilización de estas fuentes es de enorme trascendencia, porque el empleo de los molinos no se restringió a la molienda de granos, si no que posibilitó un campo para un empleo más diversificado de la energía mecánica. En cualquier situación en donde se requiriera emplear la fuerza de manera estable o repetida para desarrollar algún trabajo siempre resultaba viable emplear el mecanismo del molino.

Nuevos descubrimientos de importancia para el desarrollo de la energía, fueron el timón de codaste y la transformación de la vela latina en vela de popa a proa, porque uso de estos abrió el camino para el empleo más general de la energía eólica. Acevedo (1981) se refiere a este tema así: ellos, al posibilitar la navegación en mar abierto impulsaron notoriamente su desarrollo (aún permitieron la realización de travesías transoceánicas), con lo que se incrementó sustancialmente la incidencia de la energía eólica en el transporte marítimo. (p. 73).

El descubrimiento medieval que reflejó agudamente las fuentes individuales de energía animal empleadas y en la generación de permanencia en el uso de ellas, fue el empleo de la “collera, puesta sobre las espaldillas del caballo, por un pretal que le oprime el gáznate, (con lo que) su esfuerzo de tracción pudo ser aprovechado cinco veces más. Para Bernal (1972) esta innovación: llegó a Europa en el siglo XI. Su resultado inmediato fue el que el caballo sustituyó al buey en el arado, permitiendo así el cultivo de muchas hectáreas más de tierras que no son accesibles para los bueyes. Al mismo tiempo, el carro de caballos sustituyó a la carreta de bueyes. Y ... la introducción simultánea de las herraduras en sus pezuñas, hizo posible que los carromatos y furgones tirados por los caballos se adueñaran por los caminos. (p. 334).

“Las tildadas fuentes energéticas de autoconsumo, tuvieron gran relevancia durante el alumbramiento y primeros avances de las sociedad capitalista, particularmente a lo largo de todo el periodo en el que la manufactura fue el rasgo

distintivo del modo de producción capitalista” (Acevedo, 1981, p. 74, 75). Previamente al mayor desarrollo de las fuerzas productivas, la productividad lograda por el trabajo de la sociedad feudal creó un excedente económico que dio por resultado la formación de la división social del trabajo (surgieron nueva cuenta los artesanos, comerciantes, usureros) y en el aumento de la mercantilización de la producción, etcétera. Esto tuvo como consecuencia el desplazamiento de la organización feudal, por inicios de las formas capitalistas de producción.

Las fuentes energéticas de autoconsumo progresaron conjuntamente con el avance de la sociedad capitalista, siendo el periodo más importante en el que la manufactura fue la cualidad más importante del modo de producción capitalista. La energía de los animales se empleó fuertemente en el progreso de los procesos industriales, en concreto, el caballo fue la fuerza motriz más empleada durante el inicio de la gran industria, el hecho de que la fuerza mecánica se siga midiendo hasta hoy en caballos de fuerza, hablo de su importancia. Así lo prueba la industria textil y la fabricación de los instrumentos agrícolas mecánicos tales como sembradoras, trilladoras, etcétera, extendió la aplicación de las fuentes animales de energía en el cultivo. La importancia de la energía animal fue necesaria para los albores del capitalismo, tanto que aún en 1869, el 33% de la energía total empleada procedía de ese origen.

En los países cuyas cualidades naturales y con el progreso inicial del capitalismo, la fuerza directa del viento se desarrolló enormemente como fuente de energía, un ejemplo es el caso de Holanda.⁷ El desarrollo alcanzado por las fuentes hídricas de energía, en su empleo de energía motriz directa fue tal que el desarrollo en Inglaterra de la fuerza hidráulica imperaba en el periodo manufacturero. “El empleo del agua y de viento como fuentes directas de energía fue tan importante que en 1850 en los Estados Unidos representaban un 17% aproximadamente, del consumo total de energía primaria” (Centeno, 1974, p. 21). El creciente aumento

⁷ Holanda en 1876 tenía 12,000 molinos de viento de 6,000 caballos de fuerza. Karl Marx. *El Capital*, Tomo I, Vol. 2, P. 456 (pie de nota).

de la producción de hierro, ocurrida a finales del siglo XVI, hecho debido a la invención de los altos hornos⁸, aumento visiblemente las exigencias de energía provenientes de fuentes vegetales.

“La madera y el carbón vegetal, han participado en forma fundamental, en buena parte de la historia moderna, como fuentes de suministro de la energía necesaria para la humanidad. Al grado que en los Estados Unidos, en 1850, aportaron el 85% de la energía total consumida y a nivel mundial, todavía hacia mediados del siglo XIX la fuente de energía más utilizada era la madera” (Acevedo, 1981, p. 76).

En el progreso del sistema capitalista (particularmente al inicio del desarrollo y evolución del uso de la maquinaria de los procesos productivos) tuvo consigo, el inicio de nuevas necesidades energéticas, y conjuntamente dio los medios tecnológicos para el descubrimiento de nuevas fuentes de energía: las fuentes comerciales de energía; las cuales no solo cubrieron los requerimientos energéticos en el desarrollo de innovaciones si no que también fueron reemplazando en sus aplicaciones tradicionales a las fuentes energéticas de autoconsumo.

1.2 El carbón mineral

Entre el conjunto de las fuentes de energía que se han desarrollado a partir del desarrollo del capitalismo, en primer lugar resalta de las demás el carbón mineral y es necesario señalar que en la representación actual, la integración de cada fuente en lo individual se ha presentado en momentos desiguales, y en el plano de su relevancia mundial, cada una de ellas han desarrollado una conducta y una tendencia desigual.

⁸ Los altos hornos otorgaron la función de fundir y vaciar el hierro en grandes cantidades.

“Los principales elementos que componen el carbón mineral, son derivados de los que forman a la madera y demás material vegetal, como son: carbón, hidrógeno y oxígeno, junto con pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno; conteniendo como materias volátiles dióxido de carbón, metano y compuestos aceitosos ... conviene indicar que cuando menos el 50% del carbón mineral, se encuentra integrado por carbono”⁹.

Acevedo (1981) explica que el carbón independientemente de su clasificación, se le atribuye un origen vegetal. El carbón mineral, es el resultado de un lento y largo proceso de transformación de los vegetales, el cual presenta dos fases principales: la bioquímica es la primera; en ella, los microorganismos descomponen a la materia orgánica vegetal primaria. La etapa concluye con el enterramiento de los vegetales degradados bajo capas de sedimentos inorgánicos; la segunda, la metamórfica, se produce su carbonización por acción de la temperatura y la presión encerradas en el interior de la tierra, que consiste en el incremento de la cantidad del carbono que contienen los vegetales y en la pérdida de oxígeno e hidrógeno (p. 79).

“Las variedades por sus propiedades físico-químicos que integran al carbón mineral, se le clasifica en: antracita, hulla, lignito y turba”... “La gestación de un determinado tipo de carbón, no se puede atribuir a las diferencias de la vegetación que la generó, sino que se debe más bien al grado de metamorfismo alcanzado por los restos vegetales. Se puede considerar, en general, que los carbones más profundos son los más antiguos y los que contienen una mayor proporción de carbono” (Acevedo, 1981, pp. 79 - 82)

“La heterogénea composición físico-química de las especies de carbón mineral se origina en beneficios energéticos igualmente diferentes, los cuales dan como finalidad una función directa del contenido del carbón; de suerte que a mayor porción de éste, mayor será su poder térmico, y diferentes sus aplicaciones

⁹ Comisión de Energéticos. (1975) *El Carbón Mineral*, México.

determinadas” (Acevedo, 1981, p. 80). “El carbón más antiguo es la antracita y forma la última fase del proceso de carbonización. Su contenido de carbono es fuertemente alto, aproximadamente del 90%, lo que hace que su rendimiento energético alcance alrededor de 8300 terminas por tonelada (Ts/Ton) y sea muy buscada por su poder calorífico, aunque tiene un inconveniente, que no se puede usar para la fabricación del coque. Una de sus características principales es de arder sin llama y de dejar pocos residuos o cenizas. El principal de sus empleos es producción de termoelectricidad y la fabricación de gas de alumbrado”.

“La antracita es mas reciente que la hulla. Tiene una estructura en promedio de 85% de carbono, un 12% de oxígeno y de un 3% de hidrógeno. Su poder térmico es considerable y oscila entre la 7 mil y las nueve mil termias por tonelada. Se utiliza de manera primordial en la elaboración del coque (el que se obtiene por la destilación de la hulla). Además, en calidad de subproductos se obtiene gas de alumbrado, agua amoniacal y alquitrán. Es debido a esto que la hulla contribuye principalmente en insumos para un sin fin de industrias, fundamentalmente para la siderúrgica” (Acevedo, 1981, p. 81).

“La formación del lignito pertenece a un período más moderno que la hulla, y se sitúa en yacimientos superficiales. En su estructura química media, participa el carbón en un 75%, el oxígeno en un 20% y el hidrógeno en un 5%. Por su bajo contenido de carbono, sus propiedades térmicas son sensiblemente inferiores a los de la hulla, siendo tan solo de 4600 ts/Ton por término medio. De su destilación seca, se extrae gas de alumbrado, alquitrán y semicoque; y a su vez, del alquitrán del lignito se produce parafina, gasoil, resina, etcétera”... “Su composición química promedio es de 53% a 58% de carbono, de 28 a 35% de oxígeno y de 5 a 8% de hidrógeno. Su alta proporción de agua obliga a que sea secada antes de usarse y que reditúe, comparativamente, una cantidad pobre de calor: de 3 mil a 6 mil Ts/Ton” (Acevedo, 1981, pp. 81, 82). Se debe especificar, que con la finalidad de reducir los variados tipos de carbón –y de energías- a una unidad común, convencionalmente se considera que una tonelada equivalente de carbón tiene un rendimiento de 7 mil Ts.

Debido a su empleo en la fabricación de coque, el carbón mineral se llama coquizable o no coquizable. En caso de que el carbón al ser sometido a una fusión solidifique, formando una masa porosa y resistente, se le clasifica como coquizable; si al calentarlo se desmorona, formando una masa débilmente coherente se le considera como no coquizable. Se llama generalmente carbón a las diferentes clases de carbón mineral que existen. El carbón es conocido desde tiempos muy remotos. Para ser puntuales: "... la más antigua noticia que se tiene del carbón mineral se encuentra en manuscritos que datan de los años de (...) antes de Cristo, y en los cuales se señala como combustible. Los Griegos y los Romanos conocieron este combustible con el nombre de carbón de piedra"¹⁰

No es sino hasta el desplazamiento de las asociaciones gremiales de artesanos en organizaciones capitalistas de producción, que la explotación y el empleo del carbón fue tomando un papel fundamental. "Inicialmente, la propagación de la dimensión de los talleres, conjuntamente llevo una mayor cooperación en el trabajo. La formación de la cooperación como forma social del proceso del trabajo, estableció la primera evolución de la producción y la productividad producida por el sistema capitalista"... "El segundo momento evolutivo de la producción y la productividad en el capitalismo se formalizó con la constitución del proceso manufacturero. El empleo de la manufactura, la productividad y la producción se incrementaron en gran medida y como consecuencia la cantidad de las materias primas necesarias para sostener la mayor escala de la producción, aumentó en forma elevada" (Acevedo, 1981, pp. 83, 84).

En la fase de cooperación y manufactura no se desarrollaron fuertemente nuevas fuentes de energía para finalidades mecánicas, los mayores requerimientos que se mostraron de una materia prima, el hierro, estimularon la creciente propagación del carbón para propósitos de suministrar la energía calorífica necesaria para la fundición de su mineral. La tendencia del aumento de la producción de hierro pudo comprobarse debido a dos factores: el hallazgo de técnicas de fundición masivas y el recurso del carbón como fuente de energía costeable (es decir barata).

¹⁰ Comisión de Energéticos. El Carbón Mineral, P. 9.

“Uno de los principales logros en el avance tecnológico de los hornos de fundición, fue el empleo del proceso del vaciado del hierro pues en una cavidad que pronto constituyó la “Goa”, con la divulgación de la enseñanza del proceso, los hornos de pudelado dieron lugar a los nuevos altos hornos y al concluir el siglo XVI, el hierro comenzó a ser vaciado por toneladas en lugar de ser batido en pequeñas cantidades” ...“La limitación que el alto costo del hierro había impuesto a todas las técnicas, desapareció rápidamente; pero en su lugar surgió un nuevo obstáculo, consistente en la escases de bosques para obtener las grandes cantidades de carbón vegetal, necesarias para fundir el hierro en gran escala...”(Bernal, 1972, p. 396) .

La correlación de las partes anteriores, formó la creciente utilización del carbón mineral como fuente de calor en la metalurgia del hierro (a pesar que este mineral es más pobre y sucio que el carbón vegetal).”El primer intento notable para usar el carbón de piedra como combustible para fundir el mineral de hierro, todo indica que se debió al ingenio de un herrero inglés llamado Dudley (1619). No fue sino hasta el año 1710 que se empleó el carbón de piedra como combustible principal para derretir el mineral de hierro” (Barnes, 1973, p. 10).

Sin embargo, la transcendencia lograda por el carbón como fuente calórica en la metalurgia, es decir su verdadero apogeo como energético brota con el desarrollo del capitalismo de finales del siglo XVIII, con sus propiedades para crear la fuerza mecánica exigida por el gran desarrollo de la gran industria. La revolución industrial convirtió la estructura del proceso de trabajo, y con ellas, el desenvolvimiento de la energía dentro del mismo. Su principal característica residió en el reemplazo de la mayoría de las herramientas de la mano del hombre, para otorgárselas a un mecanismo: la máquina-herramienta; conjuntamente, la energía jugó una función elemental para el impulso de la revolución de los procesos industriales.

“La máquina que surge en la revolución industrial reemplaza al obrero que maniobra una sola herramienta por un aparato que maniobra con un conjunto de herramientas iguales o similares a la vez, e impulsada por una sola fuerza motriz, cualquiera que sea la forma de esta. El que la fuerza motriz resulte del hombre o de otra máquina no substituye para nada los axiomas fundamentales del asunto, pues lo evidentemente fundamental de la revolución industrial es que el volumen de herramientas con que pueda realizar conjuntamente la misma máquina de trabajo es visible desde el comienzo esa barrera orgánica que se tiene ante el trabajo manual del obrero”¹¹. Los párrafos previos nos señalan que “el carbón y sus aplicaciones por la máquina de vapor, no constituyeron los elementos fundamentales de la Revolución Industrial, sino que este carácter fue desempeñado por la máquina-herramienta” (Acevedo, 1981, p. 87).

Pues, el empleo de la máquina- herramienta contribuyó con la circunstancia objetiva para la obtención de la energía en el proceso de trabajo, pues cuando el hombre deja de maniobrar directamente con la herramienta sobre el objeto trabajado, la caracterización de la fuerza motriz con el músculo humano deja de ser un factor necesario, siendo cada vez mas reemplazado por el agua, el aire, el vapor, etc. Siendo el reemplazo casi definitivo de la fuerza muscular, se debe recalcar los impedimentos propios de la fuente de energía humana, pues en ella es poco potente, uniforme y continua.

Además, las fuentes energéticas anteriores empleadas mostraban diversas dificultades para su empleo industrial, como muestra de lo dicho, los caballos son generalmente poco disciplinados, terminan su fuerza rápidamente, problemáticos de emplearse en los locales de las fábricas, y en los demás usos; el viento y el agua son difíciles de controlar, su potencia en el tiempo es bastante poco flexible, no puede incrementarse su fuerza a voluntad y en concreto tienen el obstáculo (por así llamarlo) de ubicarse geográficamente fijos lo que era un enorme obstáculo para establecer las factorías, disponer fácilmente de materias primas y la mano de obra.

¹¹ Karl Marx. *El Capital*, Tomo I, Vol. 2, P. 454-457.

“Todo esto condicionó la búsqueda de nuevas fuentes de energía y de aparatos susceptibles de aprovecharla, y finalmente condujo a la invención de la máquina de vapor y el empleo masivo del vapor como fuente de energía mecánica” (Acevedo, 1981, p. 88). “El hallazgo de la máquina de vapor en su inicial versión como tal, fue inventado por James Watt y patentado en 1769” (Centro para el Estudio de Medios y Procedimientos Avanzados para la Educación CEMPAE, 1978, pp. 191, 192).

La primera innovación fue desarrollada por el mismo autor, fue la que en 1784 se comenzó a emplear en la producción textil y dio el soporte para una enorme difusión para su empleo, como lo demuestra la circunstancia que ya en 1800 “... existían más de 500 maquinas de vapor de las cuales, el 38% era utilizado para el bombeo y el resto para proporcionar fuerza rotativa en fábricas textiles, hornos de fundición y molinos de harina entre otros”. (CEMPAE, 1978, pp. 191, 192)

“El gran progreso surgido, apoyado por la máquina de vapor en su empleo textil condujo al fugaz incremento de su participación desempeñado por el carbón en el empleo de energía con fines mecánicos en los procesos industriales” (Acevedo, 1981, p. 88). La creación de las máquinas-herramientas fue la que impulsó a revolucionar la máquina de vapor, “la máquina suelta no salió de su raquitismo mientras solo estuvo movida por hombres y el sistema maquinista no pudo desenvolverse libremente mientras las fuerzas motrices conocidas: la tracción animal, el viento e incluso el agua, fueron sustituidas por la máquina de vapor...” (Acevedo, 1981, p. 89).

Así mismo, la producción del carbón tuvo una enorme expansión en el empleo de energía para fines mecánicos del trabajo en las minas. Principalmente se debe mencionar el empleo de esta fuente de energía en la propia extracción del mineral del carbón. Por lo tanto, es obvia la correlación directa entre la máquina de vapor y el carbón, puesto que la primera constituyó el instrumento material que técnicamente permitió utilizar intensivamente los yacimientos carboníferos, debido

a eso se consiguió expulsar el agua con la rapidez requerida de las galerías de las minas de carbón que se hundían al ser utilizadas, y conjuntamente, la procedencia de conseguir enormes caminos para esta fuente de energía, viabilizó un empleo cada vez más creciente de la máquina de vapor.

Un invento fundamental del carbón como fuente de calor, se aportó con la producción del acero. La gran demanda de los requerimientos de acero para la fabricación de las partes de las máquinas sometidas a mayor deterioro y esfuerzos, impulso el avance de nuevos procedimientos para su elaboración, los cuales empleaban el carbón como fuente de energía, y otorgaron su templado en grandes volúmenes.

“Es así, como se hace palmaria la importancia substancial que jugó el carbón en el alumbramiento de la sociedad moderna, a ser resultado y condición de la revolución industrial que la creó. Resultado, porque el progreso tecnológico estableció la viabilidad de la ventaja industrial del carbón; condición, pues la energía suministrada por el carbón no se hubiera llevado a cabo la rápida maquinización de los procesos productivos y la revolución industrial se hubiera retrasado por la falta de energía” (Acevedo, 1981, p. 90)

De manera correcta, se logra afirmar que: “el carbón fue la energía que engendró al capitalismo y alentó sus primeros pasos, completando, el carbón puso su sello en una economía secular fraccionada, con un tráfico circunscrito en su mayor parte, a la aldea vecina y a la región, encerrado en un mundo demasiado estrecho, y que se haría añicos en el momento que una fuente de energía abundante permitiera al maquinismo seguir creciendo...” (Peyret, 1963, p. 36). La correlación del progreso del capitalismo de los siglos XVIII y XIX con la energía, también se da geográficamente, debido a que las primeras naciones en las que se aceleró el progreso del capitalismo contaban con recursos abundantes de carbón (Francia fue una excepción).

Fue natural que así ocurriera, debido al lento desarrollo de los medios de transporte para ese periodo, obstaculizaba el desarrollo del comercio internacional de la energía, además de los problemas innatos existentes para la locomoción del carbón, volvían difícil y muy elevado el costo de esa labor. En conjunto se visualiza que la revolución llevada en los procesos productivos determinó la necesidad y contribuyeron los medios para que se gestara una revolución material de los procesos distributivos (del transporte en primera instancia). La máquina de vapor y el carbón que le suministra energía, tuvieron un papel fundamental de trascendencia para el desarrollo de los medios de transporte.

En primer lugar se logró movilizar la máquina de vapor a las embarcaciones. “En el año 1785, James Rumsey movió un barco a la velocidad de cuatro millas por hora contra la corriente del Potomac, luego Roberto Fulton en el año de 1807 construyó el famoso Clermont, que fue botado por el río Hudson y con éxito hizo un viaje satisfactorio a Albany. En el año de 1819, el Savannah, un primitivo y rudimentario barco de vapor con algún velamen auxiliar, hizo con éxito un viaje trasatlántico, valiéndose del vapor durante la mayor parte de la travesía” (Barnes, 1973, p. 11).

“Sin embargo, la difusión de la navegación impulsada por vapor no fue muy ágil, en parte debido a que se encontraron problemas para encontrar una solución para bajar el costo del combustible que las propias naves debían transportar, esto es, por el escaso rendimiento útil de la energía consumida. Es por ello, que en la mayor parte del siglo XIX únicamente se emplearon los buques de vapor para la navegación fluvial y de cabotaje, de manera lenta pero firme que fueron predominando sobre las embarcaciones de vela” (Bernal, 1972, p. 561).

Fue trascendental el alcance ejercido el siglo antepasado por el empleo de la máquina de vapor al transporte terrestre. El desarrollo de los ferrocarriles necesitó una serie de invenciones y su debido desarrollo, como los caminos de rieles, primero de madera y luego de hierro; por estos caminos circulaban diversos

carromatos tirados por distintos animales y de hacer menos pesada y propagar la máquina de vapor. En conjunto dio por resultado: que, “Stephenson terminó su primera locomotora razonablemente eficiente en el año 1814 y en 1825 se inauguraba el primer ferrocarril inglés entre Stockton y Darlington... Stephenson se dedicó, incesantemente, a la mejora de su máquina y hacia el año de 1830, terminó la famosa Rocket, con la cual consiguió una velocidad de 29 millas por hora. En Inglaterra aproximadamente a mitad del siglo XIX se disponía de una red férrea más bien extensa, y como consecuencia los ferrocarriles se fueron propagando rápidamente por todo el mundo” (Barnes, 1973, p. 383).

El empleo de la máquina de vapor a los instrumentos de transporte, estableció entre otras cosas, la dinamización, la diversificación y el abaratamiento de la locomoción de personas y mercancías. Es obvio por lo anterior mencionado que el carbón jugó un rol medular para la realización de la revolución industrial y su compañera derivada: la revolución de los transportes. Los resultados de tales procesos, constituyen actualmente una buena parte de la sociedad en la que habitamos.

“A partir de ese entonces, el carbón ha sostenido una acentuada posición en los requerimientos de las necesidades energéticas de la sociedad hasta la actualidad, tanto que para principios del siglo pasado, el carbón formaba la fuente principal que cubría el 90% del consumo total mundial de energía. Sin embargo, El progreso del capitalismo ha determinado su constante sustitución por otras fuentes de energía pues obedece a un conjunto de circunstancias en general contrarias a la reserva efectiva de las fuentes, sino más bien relacionadas con las ventajas de los distintos energéticos, con sus costos, precios y enfatizando en los diversos grados de rentabilidad de su producción” (Acevedo, 1981, p. 94).

Inversamente a la intensa dinámica que ha llevado su reemplazo, el carbón, en términos cuantitativos, fue la principal fuente energética mundial hasta finales de la década de los 60's (para la misma fecha todavía en varios países lo constituía; es el caso de China, Polonia, la ex Alemania oriental, Checoslovaquia, Inglaterra,

Rusia, etc.). Sin embargo, sus aplicaciones se han ido volviendo más concretas; concluyendo, obtenemos la afirmación que dentro de la industria se emplea casi de modo exclusivo para diferentes áreas. En el transporte, efectivamente ha dejado de usarse.

1.3 El petróleo

El petróleo fue la primera fuente energética que empezó a competir con el carbón. “La industria del petróleo en sus inicios comenzó aisladamente en los Estados Unidos, pero rápidamente se posesiono como la industria representativa de la economía mundial, llevándose la hegemonía de las fuentes de energía, debido principalmente a la disociación geográfica entre las zonas productoras y consumidoras, su asombroso esparcimiento internacional puede explicarse con esto en primer lugar, luego a los factores determinantes de crecimiento de la economía mundial: la acelerada concentración de capital, el volumen requerido de insumos, la estrechez del mercado, el perfeccionamiento de los medios de transporte, etcétera. Así la transición del petróleo fue de tal forma, que obtuvo el título de la maravilla del siglo XIX, tal como la máquina de vapor lo fue para finales del siglo XVIII”(O’Connor, 1963, p. 39).

El análisis químico revela que el petróleo está casi exclusivamente constituido por hidrocarburos, compuestos formados por dos elementos: carbono e hidrógeno. Esta simplicidad es aparente porque, como el petróleo es una mezcla, y no una sustancia pura, el número de hidrocarburos presentes y sus respectivas proporciones varían dentro de límites muy amplios. Para Centeno (1974), es químicamente incorrecto referirse al petróleo en singular; existen muchos petróleos, cada uno con su composición química y sus propiedades características. “los crudos petrolíferos están constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos, en los que se encuentran también con frecuencia usan cierta cantidad de azufre y trozos de productos nitrogenados y oxigenados...” además

puede asumir los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Actualmente la industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo con su densidad API (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo).

Tabla 1
Clasificación API

Aceite crudo	Densidad (g/ cm³)	Densidad grados API
Extrapesado	>1.0	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39
Superligero	< 0.83	> 39

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo

En cuanto a su génesis, ha sido un tema muy complicado, sin embargo destacan dos versiones, una que le atribuye un origen mineral y otra que se le confiere orgánico; esta última es la que impera, la cual consiste en que a través de los tiempos, ciertos desechos de seres orgánicos, acuáticos, algas y plancton, paulatinamente se depositaron en el fondo de los mares; posteriormente fueron recubiertos y aprisionados por capas de arena y arcilla. En ésta situación, se vieron sujetos por un periodo de tiempo muy largo a la acción de la temperatura y la presión de la tierra, lo que dio por efecto su fosilización y la formación del petróleo” (Acevedo, 1981, pp. 55, 56).

Centeno (1982) sostiene que: dentro de los hidrocarburos que representan más del 97% de los componentes de los crudos, existen dos clases principales que suelen caracterizar a las diferentes clases de petróleo, según la preponderancia de uno u otro en las fracciones tipo. Estas dos clases son los hidrocarburos parafínicos y los hidrocarburos naftenos, cuya mayor proporción de una u otra clase de dichas fracciones tipo, da lugar a los crudos denominados parafínicos y a los crudos denominados naftenos. Los hidrocarburos aromáticos, que también entran en la constitución de los crudos petrolíferos, no se emplean para caracterizar a los mismos, ya que hasta el momento no existe ningún crudo en que dicho tipo de hidrocarburos sea preponderante. Por el contrario, existe una tercera clase de crudos denominados asfálticos, debido a que las fracciones pasadas contienen un porcentaje elevado de productos parecidos a los asfaltos.

La distinta participación y asociación de los hidrocarburos redundan en valores de uso heterogéneos para los diversos tipos de petróleo, tanto para sus empleos energéticos como para los no energéticos, y también que al procesarlos reditúan proporciones distintas de productos derivados, lo que a su vez poseen valores de uso diferenciados.

“Una catalogación más común de los crudos obedece a su densidad (la cual depende del contenido proporcional de parafinas, naftas y asfaltos). Conforme a este parámetro, el petróleo se desglosa en crudo pesado y ligero. La densidad de los crudos se mide usualmente en grados de American Petroleum Institute (grados API), los cuales, son una función inversa a la densidad. En general se considera que un petróleo es ligero si tiene una densidad igual o superior a los 30 grados API y se estima como pesado si tiene una densidad inferior”.... “El petróleo, atendiendo a su composición química tiene tener poderes caloríficos; no obstante, sus variaciones térmicas son bastante menores que las del carbón, lo que obedece a la mayor homogeneidad proporcional que existe en la participación de los elementos químicos que conforman el petróleo en relación a la que presentan las sustancias componentes del carbón. Se puede considerar en general, que el rendimiento térmico promedio de una tonelada de crudo es de 10,000 termias” (Acevedo, 1981, pp. 97, 98).

Desde que el mundo es mundo, algunas civilizaciones ya empleaban el petróleo en tareas muy diversas: para recubrir embarcaciones, como materia de construcción, para fines medicinales, y más. Comúnmente se le llamaba “aceite de piedra”. Haciendo una sucinta revisión de la historia de la utilización del petróleo; en la época greco-romana su empleo declinó, sin embargo. en el siglo VII de nuestra era, con el descubrimiento de su destilación y el empleo del aceite resultante en estado hirviente, como instrumento bélico, por parte de los persas y los árabes, su utilización estuvo en auge hasta que con la llegada de la pólvora fue sustituida.

Siguiendo la revisión se puede observar que el progreso del petróleo brilló mayormente en China. Su uso e industria se destaca tanto, que se debe mencionar su desarrollo: “... los chinos habían empleado petróleo y nafta para aislar y reducir la sal de la salina, de aquí no hubo más que un paso al empleo del petróleo crudo para calentar las casas y del gas para el alumbrado. Los chinos descubrieron que el petróleo crudo purificado podía usarse en lámparas cerradas. Hace aproximadamente dos mil años, ya horadaban pozos de 3500 pies en Szechuan y Shensi. Esto sucedió dos mil años antes de que se hiciera el pozo de Drake en Pensilvania Oriental, a una profundidad de 69.5 pies” (O’Connor, 1963).

Se piensa que empleaban tubos de bambú para extraer, y pedazos de bronce para escarbar la tierra. También utilizaban petróleo y nafta para aislar y reducir la sal de las salinas, después descubrieron que el petróleo crudo purificado se podía emplear en lámparas cerradas. Del otro lado del mundo en México, los totonacas de Papantla usaban otros de sus diversos empleos, lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus ritos; algunas tribus de las costas, lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura. El caso de Rumania fue una excepción, a inicios del siglo XVIII su producción y consumo, en forma destilada como kerosén, se difundió mucho, sin embargo para el resto del mundo, ni por sus múltiples beneficios el petróleo no obtuvo su papel en la historia económica ni como principal fuente de energía sino hasta mucho después.

La industria del petróleo en el siglo XIX no tuvo progreso real, pues se tenía catalogado como una curiosidad cuyas mágicas propiedades se empleaban en la cura de diversas enfermedades como la tos crónica, la gota, el reumatismo, etc. Las fuerzas productivas relegaron a un rincón la industria del petróleo, tanto que con el hallazgo del pozo de Drake en Pensilvania, se tuvo que empezar todo de nuevo, con instrumentos tan rudimentarios como los de dos mil años atrás. Se piensa que el progreso tecnológico de la actividad petrolera se vio rezagado debido a que en los países europeos donde se inició la revolución industrial, no contaban con el suficiente petróleo dentro de su territorio que pudiera ser usado como fuente principal de energía.

La lámpara de aceite, la innovación clave para la llegada y el auge de la era del petróleo, fue descubierta por Amado Argand a finales del siglo XVII. Como era de esperarse se innovó rápido por Antonie Lavoisier, este farmacéutico de origen francés le puso su nombre; con el hallazgo de esta lámpara se inició el nuevo uso del petróleo a finales del siglo XVIII, el de emplearse para alumbrar. Como en todo descubrimiento se tiene dificultades, en este caso se tuvieron dos fundamentales: la primera es que el petróleo se empezó a usar crudo, se inflamaba fácilmente y dejaba residuos al combustionarse, por lo tanto se debía modificar la calidad del producto; y el segundo era la cantidad disponible para su utilización, pues solo se aprovechaba el que surgía al ras del suelo en las chapopoterías y era muy poco para lo que se demandaba.

En 1850, Samuel Kier, logró refinar el primer barril de petróleo, pues se dio cuenta que la kerosina, uno de sus productos destilados, tenía propiedades muy aptas para iluminar y con eso el primer obstáculo se eliminó. El segundo problema fue resuelto cuando se aprendió a extraer el petróleo del subsuelo terrestre, con lo cual se resolvió la dificultad, ya que se incrementó cuantiosamente su producción. La innovación fue descubierta por Edwin Drake en el año de 1859, consiguió extraer petróleo del subsuelo utilizando técnicas desarrolladas para la extracción de agua de pozo y así surgió la moderna industria petrolera.

“Ya hacía 1850, las principales fuentes de alumbrado habían sido el aceite de ballena y la cera para velas pero debido a que no era suficiente y a la escasez, se avanzó rápidamente en el desarrollo del “aceite de carbón” para que los sustituyera en la iluminación. Pero las mejores cualidades iluminantes y su precio tan bajo de la kerosina del petróleo hicieron que el desarrollo del aceite de carbón fuera desplazado” (Acevedo, 1981, p. 102).

Se propagó de inmediato la lámpara de petróleo ya perfeccionada a partir de 1860; se sigue con las innovaciones de las primeras cocinas y las primeras calefacciones centrales de petróleo flamígero. La kerosina obtenida del petróleo tuvo un incremento en su demanda nunca antes visto, y en solo un año desplazó al carbón por completo. Usar el petróleo en la iluminación generó un cambio radical en la forma de vida de las personas, convirtió las ciudades oscuras en países iluminados por las noches, transformando el estilo de vida y el trabajo pues se acababa al meterse el sol, a los cuales la humanidad se había restringido en otras épocas y así en verdad que nació una nueva era, pues no se concibe hoy en día estar sin luz en las noches.

Fue de 1850 a 1900 que el empleo de los residuos pesados de la refinación del petróleo como lubricantes desplazó paulatinamente al uso de los aceites vegetales por los aceites derivados del petróleo como lubricantes industriales y domésticos, este hecho se considera muy importante en la transición. “Luego llegó la invención de que el residuo de la destilación llamado fuel-oil podía sustituir con enormes beneficios al carbón en las calderas de las locomotoras, así a finales del siglo XIX ya se utilizaba como único combustible en la industria americana del ferrocarril” (Secretaría de Educación Pública SEP, 1993).

La otra industria que en sus inicios a utilizar rápidamente fue el transporte marítimo, el primer buque tanque y quemador de petróleo llamado Zoroastro se construyó en 1879 en Suecia, luego se triplicaron las embarcaciones en Rusia que utilizaban al petróleo. En Inglaterra el segundo Lord del Almirantazgo Británico tomó la decisión de empezar a emplearlo en su flota en el siglo XX. Y a inicios del siglo XX, los Estados Unidos lo empezaron a usar para fines navales.

“Las ventajas del petróleo en sus aplicaciones en hornos y calderas con respecto al carbón, haciendo a un lado su costo, precio y cantidad del recurso, estas aplicaciones fueron: ahorro del espacio pues tiene un mayor rendimiento térmico por unidad de volumen, ahorro de mano de obra debido a su facilidad de manejo y que reduce gastos de mantenimiento resultado de su mejor combustión. Dando por consecuencia el auge de su empleo en adaptarlo en la calefacción doméstica y en menor medida en los hornos metalúrgicos” (Acevedo, 1981, p. 104).

“La industria del petróleo en sus inicios comenzó aisladamente en los Estados Unidos, pero rápidamente se posesiono como la industria representativa de la economía mundial, llevándose la hegemonía de las fuentes de energía, debido principalmente a la disociación geográfica entre las zonas productoras y consumidoras, su asombroso esparcimiento internacional puede explicarse con esto en primer lugar, luego a los factores determinantes de crecimiento de la economía mundial: la acelerada concentración de capital, el volumen requerido de insumos, la estrechez del mercado, el perfeccionamiento de los medios de transporte, etcétera. Así la transición del petróleo fue de tal forma, que obtuvo el título de la maravilla del siglo XIX, tal como la máquina de vapor lo fue para finales del siglo XVIII”(O’Connor, 1963, p. 39). Por lo tanto en el siglo XIX los usos que destacan del empleo del petróleo son como alumbrado y como lubricante; pero el siglo XX no es una exageración decir que fue la era del petróleo, es decir fue la sociedad petrolera.

Haciendo una sucinta revisión histórica, la etapa fundamental del petróleo se debe a la creación de la combustión interna y el asombroso progreso de sus aplicaciones como carburante en la industria automotriz. En el año de 1791 el inglés Barber inventó el primer motor de gas (aunque no muy funcional), y así en 1867 entre los alemanes Otto y Lange y Frances Barber innovaron el funcional motor de gas exhibiéndolo en la exposición internacional de Paris. Así pasaron 20 años más para que se pudiera utilizar el motor de combustión interna con éxito en la industria del transporte pues en 1886 Karl Benz construyó el primer automóvil

impulsado con motor de gasolina y como resultado el empleo del petróleo como carburante en los motores de combustión interna, dando así el uso masivo de la gasolina paulatinamente, que en años atrás no tenía valor comercial.

Como resumen tenemos que las ventajas principales del motor de gasolina en lugar de la máquina de vapor radican: en su menor tamaño, la limpieza de combustión y destacándose su mayor rendimiento termodinámico pues repercute en una reducción del empleo de combustible por finalidades más útiles logradas, pues las maquinas de vapor tenían un beneficio máximo de 5% y las de gasolina reportaban superando el 30% a determinada aceleración, es decir se incremento en un asombroso 600%. “La aplicación hizo que la utilización de la gasolina como carburante automotriz se popularizara y difundiera de tal manera que se colocara rápidamente como la principal aplicación del petróleo para así tener la hegemonía casi total relegando a las otras fuentes”(Acevedo, 1981).

En 1897 el alemán Rodolfo Diesel, fue el que dio origen al invento trascendental del motor de diesel. Este motor tiene la interesante cualidad que utiliza el combustible derivado del petróleo del mismo nombre, además amplía la utilización del petróleo en el transporte y marítimo y que trajo conjuntamente importantes usos industriales consigo. El precio bajo y sus mayores rendimientos termodinámicos hizo que el diesel alcanzara un auge impresionante en sus diversos empleos. “Incuestionablemente la máquina de combustión interna y los carburantes derivados del petróleo que utiliza en su funcionamiento, dieran las condiciones fundamentales para dar origen a la revolución de los medios de transporte utilizados por la sociedad actual (Acevedo, 1981, p. 107).

Terminada la Primera Guerra mundial, fue cuando se comenzó a utilizar de el petróleo en las industrias, lo que muestra que este siguió un camino contrario de cómo lo hizo el carbón en el desarrollo de sus usos, pues a diferencia de este, su uso se dio inicialmente en el transporte que con miras industriales. Se formaron dos periodos importantes en la historia del petróleo como suministradora de calor,

la primera etapa fue el periodo entre las guerras mundiales y su principal característica radica en el incremento de su empleo, pero con la característica de ser usado nada más en los Estados Unidos. La segunda fue consecuentemente en la posguerra y se caracteriza por su esparcimiento geográfico. El empleo del petróleo fue tan expansivo que no solo satisfizo la constante demanda, sino que además desplazó rápidamente en las aplicaciones industriales al carbón.

“A las ventajas naturales del petróleo: facilidad de manejo, de transporte y elevado poder energético, se le añaden como factores determinantes del desplazamiento del carbón la presión política ejercida al respecto por el gobierno de los Estados Unidos a través del Plan Marshall, lo mismo que el derrumbe de los costos mundiales medios del crudo (por efecto de la puesta del desarrollo de los fértiles campos del Medio Oriente) y la consecuente alteración de los precios relativos a favor del petróleo (que en tan solo 15 años de 1950 a 1965 se abaten más del 50%)¹².”

Por último se debe resaltar la gran importancia del empleo del petróleo en conjunción con el gas natural en la petroquímica. A finales del siglo XIX e inicios del XX la química tuvo un asombroso desarrollo logrado, se consiguió usar al petróleo y al gas natural como materia prima para la producción de productos químicos. En la primera guerra mundial: en los Estados Unidos, la Standard Oil (después Exxon) de Nueva Jersey, logró producir acetona, un hallazgo muy importante para la fabricación de explosivos.

Aún así la industria química basada en el petróleo se manifestó paulatinamente en el periodo de entre guerras, sin embargo, en la segunda guerra mundial la necesidad de encontrar sustitutos de diversos productos, y de inventar otros, impulsó a la industria química a un fuerte desarrollo a partir del petróleo. Empezando la guerra esta industria incremento su desarrollo enormemente en

¹² Surendra J. Patel (1978) “La transferencia de tecnología a los países en desarrollo” *Comercio Exterior*. México.

comparación a la economía mundial en su totalidad, siendo la química orgánica basada en los hidrocarburos la que proporcionó el auge y la situó en la vanguardia.

A la necesidad del progreso tecnológico, destacándose en las fases de extracción, transporte y refinación, el desarrollo de la producción de petróleo solo fue posible debido a esto. Del otro lado en la producción conteniendo además a los medios de distribución y producción, que existe en una gran cantidad de productos, en alguna fase de su fabricación, ha intervenido el petróleo; entonces se puede afirmar como conclusión “el petróleo es hoy por hoy aún la sustancia material de nuestra sociedad” (Acevedo, 1981, p. 109).

1.4 La energía hidráulica

Al estudiar esta particular clase de energía, se observa que contiene diferencias significativas con las anteriormente estudiadas. Primeramente esta fuente al igual que las anteriores es un recurso primario o natural. Sin embargo, tiene una propiedad fundamental que la distingue de las otras, es una fuente renovable de energía.¹³ Además en su forma primaria (natural), se presenta como energía potencial, resultado de su capacidad de producir movimiento, que procede de la diferencia de altura con un plano dado.

Resaltaremos en este apartado únicamente su empleo energético fundamental: la funcionalidad de la energía hidráulica en la producción de electricidad. La energía hidráulica se divide principalmente por su nivel de cantidad, que la separa en relación a su capacidad de producción eléctrica, en microgeneradoras y macrogeneradoras. Esta fuente fue resultado de una serie de descubrimientos

¹³ El ciclo hidrológico o ciclo del agua es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrosfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico. Arturo Acevedo. La Economía de la Energía, pp.121-122.

científicos¹⁴ e innovaciones tecnológicas, como la fabricación de turbinas y conductores. En el siglo XVIII fue descubierta pero no desarrollada para su empleo, así pasó por una serie de sucesos hasta que a finales de las últimas décadas del siglo XIX empezó a desarrollar su uso práctico.

Entre sus principales usos sobresale la aplicación en la transmisión de comunicaciones a largas distancias. El descubrimiento de la lámpara incandescente¹⁵ y la creación de un sistema de generación y distribución eléctrica, hizo factible que la energía eléctrica se pudiera usar en los hogares y en los alambrados de las ciudades y provincias de manera generalizada (masiva); sustituyendo a la kerosina y al gas de alumbrado para estos usos, por la mejor destreza y limpieza de su uso. Y así la electricidad sirvió para generar y distribuir luz y esto posibilitó su empleo como fuerza motriz.

Su utilización en la generación de fuerza mecánica surge por las innovaciones consecuentes de los motores eléctricos y por el suministro comercial de la electricidad, dando así el auge en la Industria para su utilización. El motor eléctrico tiene un sin fin de cualidades, entre las principales se encuentran: una enorme capacidad energética en la producción de fuerza mecánica, la mayor certeza en su funcionamiento ininterrumpido, los menores gastos de mantenimiento, los casi

¹⁴ Estos descubrimientos fueron hechos por diferentes científicos, entre ellos: Gray, Franklin, Galván, Volta, Faraday, etc.

¹⁵ El invento de la lámpara incandescente se atribuye habitualmente a Thomas Alva Edison que contribuyó a su desarrollo produciendo, el 21 de octubre de 1879, una lámpara práctica y viable, que lució durante 48 horas ininterrumpidas. El 27 de enero de 1880 le fue concedida la patente, con el número 223.898. Otros inventores también habían desarrollado modelos que funcionaban en laboratorio, incluyendo a Joseph Swan, Henry Woodward, Mathew Evans, James Bowman Lindsay, William Sawyer y Humphry Davy. Es uno de los inventos más utilizados por el hombre desde su creación a la fecha, su creación está ubicada según un ranking de la revista Life como la segunda más útil del siglo XIX. La comercialización de la bombilla por parte de la compañía de Thomas Alva Edison estuvo plagada de disputas de patentes con sus competidores, incluyendo un pleito en el que Heinrich Göbel declaró haber construido en el año 1854 la primera bombilla. Aunque en 1893 varios pleitos estimaron¹ que era "altamente improbable" que Heinrich Göbel hubiese inventado la bombilla en aquella fecha, un competidor de Edison, Franklin Leonard Pope escribió un artículo² en el que describía a Göbel como un inventor no reconocido, originando un mito que persiste hasta la fecha. No obstante, cabe recordar que mucho antes que a Alva Edison, el 11 de julio de 1874 es al ingeniero ruso Alexander Lodiguin que se le concede la patente 1619 por la bombilla incandescente. El inventor ruso utilizó un filamento de carbono.

nulos gastos de transmisión del movimiento a la máquina-herramienta y la viabilidad económica para su aplicación en pequeñas potencias.

“La aplicación de la energía eléctrica con fines de generación térmica es muy ineficiente ... debido a esto, la producción de fuerza en el sector industrial se ha reservado casi por completo a la electricidad, (mientras que) las aplicaciones térmicas de la energía quedan fundamentalmente a cargo ... (del) combustóleo, gas natural y carbón” ¹⁶

En la industria del transporte la electricidad juega un pequeño papel, pues se concentra tan solo en su uso en la locomoción de ferrocarriles y tranvías. A finales del siglo XIX y principios del XX, la electricidad se empezaba a colocar a nivel mundial, siendo así que hasta después de la Primera Guerra Mundial fue cuando tomó una fuerte importancia económica. Actualmente la electricidad sigue siendo de suma importancia en el mundo. Otra particularidad importante que tiene es que se puede obtener de diversas fuentes energéticas: hidráulicas, térmicas, fotovoltaicas y en menor grado las pilas de combustible basadas en celdas de hidrógeno¹⁷. “La hidráulica y los combustibles fósiles, son las fuentes habituales para la producción de electricidad. La frecuencia con que se emplea una u otra fuente radica en su cantidad de cada recurso en cada País, pero si se tratara de

¹⁶ I.M.P Tomo 2, P. 137.

¹⁷ Una celda, célula o pila de combustible es un dispositivo electroquímico de generación de electricidad similar a una batería, que se diferencia de esta en estar diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos. Esto permite producir electricidad a partir de una fuente externa de combustible y de oxígeno, en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía de una batería. Además, la composición química de los electrodos de una batería cambia según el estado de carga, mientras que en una celda de combustible los electrodos funcionan por la acción de catalizadores, por lo que son mucho más estables. En las celdas de hidrógeno los reactivos usados son hidrógeno en el ánodo y oxígeno en el cátodo. Se puede obtener un suministro continuo de hidrógeno a partir de la electrólisis del agua, lo que requiere una fuente primaria de generación de electricidad, o a partir de reacciones catalíticas que desprenden hidrógeno de hidrocarburos. El hidrógeno puede almacenarse, lo que permitiría el uso de fuentes discontinuas de energía como la solar y la eólica. El hidrógeno gaseoso (H₂) es altamente inflamable y explosivo, por lo que se están desarrollando métodos de almacenamiento en matrices porosas de diversos materiales.

http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica

iguales circunstancias, como en el caso de Canadá y los Estados Unidos, el triunfador es la hidroelectricidad”.

La hidroelectricidad encierra diversas propiedades que se distinguen enormemente a los otros métodos de obtención de electricidad. La fundamental propiedad radica en el que se utiliza una fuente renovable de energía (como ya se había hecho mención). Por otro lado se desempeñan automáticamente, no forman un foco de polución y su capacidad es enormemente superior a cualquier planta termoeléctrica. Sin embargo, aun teniendo en cuenta las grandes ventajas de la hidroelectricidad, “...la generación termoeléctrica ha conseguido ser el predominante, pues el agotamiento del potencial hidrológico y a grandes distancias entre el centro de producción y de consumo (lo que se traduce en los altos costos de la energía eléctrica en particular) han hecho esto posible; además, de los bajos precios internacionales de los hidrocarburos para determinados periodos históricos” (Acevedo, 1981, pp. 125, 126).

1.5 La energía nuclear

La energía nuclear fue la fuente representativa del siglo pasado (Sir James Chadwick descubrió el neutrón en 1932, año que puede considerarse como el inicio de la física nuclear). “La energía nuclear se define en la energía que potencialmente puede liberar el núcleo de los átomos. Se tienen dos procedimientos para su generación: la fusión y la fisión”... “En la fisión nuclear es el proceso en el que la liberación de la energía acontece al fraccionarse el núcleo atómico en dos partes de tamaño comparable, pero de menor peso; la diferencia de peso, obedece a la liberación de energía. Conjuntamente, cada una de las fracciones posee un número de neutrones para ser estables, por lo que la mayoría se vuelven a desintegrar, formándose así una cadena desintegracional, de las que se desprenden ciertas cantidades de energía”...“En la fusión, la energía se libera

al colisionarse dos núcleos ligeros, formando uno solo más pesado; la diferencia de peso con sus partes individualmente componentes, representa energía liberada. En determinadas condiciones, también se producen reacciones en cadena, desprendiéndose por tanto, la energía en cadena” (Acevedo, 1981, pp. 126, 127).

Entre las dos maneras de obtener energía nuclear, la fusión es la más viable por sus características¹⁸, pero ha sido rezagada debido a que implica un mayor costo (económico) el desarrollo de su progreso tecnológico, el cual la fisión en comparación es más conveniente, por lo que ha imperado su constante desarrollo, sin embargo en mucho menor grado se sigue desarrollando la fusión.

El principal material fisionable es el uranio. El uranio no se presenta en la naturaleza en estado libre. Es un metal extremadamente reactivo que se combina fácilmente con los metaloides y que se encuentra en muchos compuestos metálicos. “El uranio se compone por diversos isótopos. Cada 100,000 átomos de uranio natural incluyen 6 átomos de U 234, 711 átomos de U 235 y 99283 átomos de U 238. Tan solo el uranio 235, por ser un isótopo altamente inestable, resulta aprovechable como fuente energética, con la tecnología imperante. El rendimiento energético de un gramo de uranio 235 es de 24,000 termias”. (Chevalier, 1974, p. 181). Cuando la concentración de U 235 es de 0.7%, se dice que se trata de uranio natural, cuando lo es de 3%, se habla de uranio enriquecido.

A mitades del siglo pasado el progreso de la fisión nuclear y por ende de la energía nuclear se hizo viable a consecuencia de un conjunto de avances científico tecnológicos: El descubrimiento de la radioactividad, la reacción en cadena, la creación de reactores, etc., pero en particular el poder bélico fortísimo fue la característica fundamental que fomento sobre todo el empleo de la energía nuclear. Esto es demostrado con el año de 1945 (Año en el que termina la

¹⁸ Gibbs, W. Wayt (2006) “Plan B for Energy” *Scientific American*, September.

Segunda Guerra Mundial), Estados Unidos realiza la explotación de bombas: Trinity explotada con fines experimentales, "Little Boy" explotada sobre Hiroshima y sobre Nagasaki la llamada Fat Man. Como consecuencia las demás naciones desarrollaron la energía nuclear con finalidades armamentistas como prioridad (no exclusiva), como la ex U.R.S.S., India, Francia, China, Gran Bretaña, Paquistán, Corea del Norte e Israel (Oficialmente no lo reconoce).

Desde sus inicios este tipo de energía primaria ha sido sumamente cuestionada, en grandes rasgos: Los reactores nucleares generan residuos radioactivos. Algunos de ellos con un semiperiodo elevado, como el americio, el neptunio o el curio y de una alta toxicidad. Los detractores de la energía nuclear hacen hincapié en el peligro de esos residuos. Algunas centrales también sirven para generar material adicional de fisión (plutonio) que puede usarse para la creación de armamento nuclear. Dicho interés en la creación de dichas sustancias impone un diseño específico del reactor en detrimento de la ecología del mismo. La percepción de peligro en la población proviene en torno a un accidente o un ataque terrorista los exponga a la radiación. La probabilidad de que un accidente similar al sucedido en Chernobyl se repita en las centrales occidentales es sumamente pequeña debido a su propio diseño.

La fisión nuclear no se restringe en su aplicación bélica, a tan solo la utilización de bombas, desde el inicio de su empleo se usaba como fuerza motriz en submarinos, portaviones, etc., este empleo no ha sido desarrollado eficientemente con respecto a otras fuentes de energía debido a su principal propósito: la autonomía militarmente estratégica. "Otra utilización bélica de la fisión nuclear, dada desde sus primeros tiempos la constituye su empleo como fuerza motriz en submarinos, portaaviones, etcétera. Este uso no ha sido desarrollado tanto por su mayor competitividad económica con respecto a otras fuentes de energía, sino por cuestiones de autonomía militarmente estratégica" (Acevedo, 1981, p. 129).

Desde sus orígenes, se vaticinó que sus aplicaciones pacíficas tenían mucho porvenir, que "... las perspectivas de los suministros de energía nuclear para la industria y la agricultura eran enormes, de tal forma que podríamos cubrir las necesidades del planeta durante cientos de años..." (Centeno, 1974, p. 447) Estas contradicciones radican principalmente en que la energía nuclear no es a mediano plazo una fuente barata e inextinguible de energía, como se tenía registrado años atrás.

Son diversos los elementos que han limitado el auge de la energía nuclear con propósitos pacíficos, los principales son que: las reservas de uranio conocidas, no son muy cuantiosas en relación al consumo de que de ellas hacen los reactores no regenerativos. Por otro lado el desarrollo tecnológico de los reactores de cría, han resuelto eventualmente este problema de escasez de la materia prima, pero los costos aún no son muy competitivos para su desarrollo. Otro elemento fundamental es el poco conocimiento de cómo se puede manejar los desechos nucleares (obviamente de manera eficiente) y las medidas de seguridad en la operación nuclear, presentan costos elevados y altos riesgos en su aplicación; a todo esto se le añade que existe una muy fuerte resistencia popular al uso de esta energía siendo un gran factor en las decisiones políticas y económicas para su progreso, lo que no implica que se haya detenido su desarrollo.

La Bomba de hidrógeno es una muestra de que impere su uso bélico sobre las aplicaciones constructivas, el desarrollo científico está concentrado mayormente en esta área (obviamente no es abiertamente publicado por ninguna nación), en especial la referida a la fisión nuclear. En cuanto a la fusión nuclear aún se tienen problemas técnicos para su total aplicación. En opinión de los técnicos del Instituto Mexicano del petróleo, "A pesar de esta perspectiva tan optimista, la energía nuclear no será a mediano plazo una fuente barata o inextinguible de energía, como se había pensado en un principio, así como la aplicación de los radioisótopos farmacéuticos, químicos y otros no revolucionarán la medicina, alimentos, construcción, industrias como se esperaba originalmente... fuera de la electricidad

solo en el transporte marítimo se están considerando posibilidades (de uso) en consideración...”¹⁹.

Como conclusión se tiene que “El desarrollo científico y de las fuerzas productivas, no ha sido tal que haya permitido rebasar las aplicaciones destructivas de la fusión nuclear, tales como la bomba de hidrógeno. El problema pivotal a resolver para lograr su empleo constructivo, consiste en controlar la reacción nuclear en cadena de la fusión. Actualmente no se avizora la solución técnica del problema planteado” (Acevedo, 1981, p. 130).

1.6 La energía solar

De las llamadas fuentes alternas de energía que se utilizan hoy en día: la eólica, la maremotriz, la geotérmica, etc., es la energía solar la que tiene una real importancia internacionalmente y avances, por esta razón será la única fuente analizada para fines prácticos en esta investigación. Es un hecho que no se ha valorado la importancia de la energía solar, pues ningún país lo registra adecuadamente dentro de sus presupuestos oficiales de energéticos, “basta decir, que la energía solar recibida por la tierra anualmente (se calcula) asciende a... unas veinticinco mil veces el consumo energético actual del hombre” (Centeno, 1974, p. 452).

La energía solar está formada por las radiaciones que despide el sol, como efecto de los procesos de fusión que se realizan en su seno. Al entrar esta radiación a la atmósfera es absorbida, reflejada o desviada, de manera que del total interceptado por la Tierra, sólo alrededor de la mitad de la radiación llega a la superficie terrestre, en dos componentes: directo y difuso. Existen diversas formas de utilizar la energía solar directa: se puede captar por sistemas fotovoltaicos o fotoquímicas para transformarse directamente en energía eléctrica o energía química,

¹⁹ Instituto Mexicano del Petróleo, tomo I, pp. 4-33 y 4-35.

respectivamente. También se puede aprovechar como fuente de energía térmica mediante colectores solares, ya sea empleado como energía térmica o como parte del proceso en la obtención de energía mecánica o eléctrica, mediante procesos termodinámicos.

La energía térmica directa principalmente fue de sus primeras aplicaciones. Este empleo se lleva a cabo en la mayoría de los casos, sin que medie ningún instrumento o en su caso con el empleo de un colector solar; este instrumento ayuda a captar y a transferir la energía solar. En sus primeros prototipos, los colectores solares reflejan una tecnología muy simple, y como resultado los precios relativos son los que otorgan la difusión de su empleo.

Los precios como es bien sabido juegan un papel fundamental en el empleo de cualquier fuente energética, así el precio de las fuentes energéticas convencionales explican que muchos usos solares térmicos directos no se hayan difundido hasta la fecha, aun cuando es bien sabido sus aplicaciones desde hace mucho tiempo. Haciendo una pequeña revisión histórica "...en 1872 en Chile se instaló una gran planta de destilación de agua a base de energía solar, que funcionó durante 36 años. En 1948, en Estados Unidos en el estado de Massachusetts en Sover se construyó una casa con un colector vertical, el cual servía para calefaccionarla. En este mismo país en 1951 en Miami ya existían 50,000 casas que calentaban el agua para sus usos domésticos, instalando cañerías pintadas de negro en el tejado, para que las calienten los rayos solares". Sin embargo se requiere de una mayor sofisticación tecnológica para que la energía solar sea empleada como fuente térmica para producir fuerza mecánica y electricidad; fundamentalmente, más eficiencia y extensión de los colectores solares. En el siglo antepasado se inventaron más de 25 tipos de motores accionados por calor solar, pero no fueron exitosos. En el siglo pasado la primera aplicación que en realidad tuvo significancia fue en el bombeo de agua y en la generación eléctrica en el medio rural. (ONU, 1957, pp. 33 - 35).

Fue el científico francés Becquerel, el que descubrió el efecto fotovoltaico; el cual consiste que cuando la luz incidía sobre algunos cuerpos, aparecía una diferencia de potencial que hacía que circulara una corriente eléctrica. Sin embargo fue hasta 1955 que se logró emplearlo de manera eficiente, como conjunción de los progresos en la metalurgia de los semiconductores, que son materiales con propiedades fotovoltaicas. En los inicios de su desarrollo se empleo en los viajes espaciales, que dio por resultado un retraso en su avance tecnológico en un sentido económico debido a que su desarrollo en la investigación no se centró en los costos de los sistemas, sino en reducir volumen y peso. (Castellanos & Escobedo, 1980, p. 49)

Bell Telephone Company en 1955 efectuó la primera demostración terrestre del funcionamiento de las celdas solares realizando la instalación de una central telefónica rural accionada por energía fotovoltaica en Georgia. Luego de este suceso se establecieron sistemas de conversión fotovoltaica, radio-faros, boyas luminosas de ayuda a la navegación marítima, estaciones repetidoras de señales de T.V., cabinas telefónicas de emergencia en las autopistas y sistemas de televisión rural son algunas muestras del empleo de las celdas solares en todos los puntos del globo. A nivel experimental se han hecho: bicicletas, aviones muy ligeros, automóviles. Entre los motivos que han hecho que no se emplee en todo su potencial el poder fotovoltaico de la energía solar se destacan: la todavía insatisfactoria eficiencia fotoeléctrica de las celdas solares, su alto costo de generación, la elevada inversión inicial que involucra, la intermitencia y desigual distribución terrestre de las radiaciones solares, etc. (Guzmán, 1977, p. 52)

Las dificultades relacionadas a sus costos están siendo resueltas debido a los grandes atributos de esta fuente de energía y consecuentemente se están llevando a cabo inversiones en la investigación tecnológica. Las principales características que han hecho que esto se lleve a cabo resaltan: su disponibilidad prácticamente inagotable, su larga durabilidad y elevada confiabilidad de funcionamiento hecho que se deriva de la ausencia en el mecanismo de partes

móviles y recalentables, la simpleza de su operación, la insignificancia de su mantenimiento, la extrema dosificabilidad en la instalación de las capacidades de generación, la eliminación de la fase de distribución eléctrica, el uso de una tecnología relativamente sencilla, etc.

Recapitulando, las fuentes de energía son aquellas que producen energía útil directamente o por medio de una transformación y se clasifican en primarias y secundarias. Las primeras corresponden a las distintas fuentes de energía tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea de forma directa o después de un proceso de extracción; estos recursos se utilizan como insumo para obtener productos secundarios o se consumen en forma directa. Las fuentes de energía Secundaria se refieren a cuando las energías primarias se transforman mediante procesos de conversión energética en formas de energía más adecuadas, como la energía eléctrica y los combustibles más limpios.

Capítulo II: Balance energético internacional: tendencias y perspectivas de los principales energéticos.

2.1 Balance energético internacional

El estudio comparativo de las circunstancias de un periodo determinado de las fuentes de energía para tratar de proveer su evolución es lo que conocemos como el balance energético. Actualmente la crisis mundial de energía es muy profunda, por tanto se hace cambio de sistema energético. El aumento de la dependencia del consumo de energía no va a parar, además del hecho fundamental que la principal fuente de energía, está siendo inevitablemente agotada, el medio ambiente natural de la Tierra no puede asimilar de manera rápida los productos de desecho del consumo de combustible fósil, pues se tienen niveles exagerados de contaminación.

El remedio a este hecho está no solo en desarrollar fuentes alternativas de energía, sino en buscar nuevos métodos de conversión de energía y en aprovechar los progresos científicos en los que ya existen. En cuanto a la investigación, está dirigida principalmente a: la primera es a buscar nuevas formas de conversión de la energía química derivada de combustibles fósiles, de la energía nuclear derivada en reacciones de fisión y de fusión, de la energía solar captada directamente del sol en energía eléctrica y se ha incrementado en el estudio de combustibles sintéticos que puedan ser obtenidos de otras fuentes abundantes de energía y que a su vez sean de fácil almacenamiento y transporte.²⁰

²⁰ Realizado en base del análisis tomado de López (1974).

Una parte de la investigación se dirige específicamente en saber si existen otras formas de energía que puedan ser utilizadas presentando suficientes ventajas sobre la energía eléctrica y la industria automotriz.²¹ “La electricidad es una forma de energía limpia y conveniente. Sin embargo, no es la mejor ni la más práctica en muchos casos, pues el costo de su transmisión y distribución a los consumidores es muy alto, además del problema que representa su almacenamiento”²².

Es visible que la revolución en la industria automotriz despegue en los próximos años gracias a la introducción de automóviles, camiones y demás medios de transporte alimentados por pilas de combustibles y de las recientes estaciones de servicio que suministran hidrógeno.²³ “De estos combustibles sintéticos, el que se destaca es el hidrógeno, pues ha captado el mayor interés como medio potencial de energía para el futuro por sus magníficas propiedades, pues es ecológicamente eficaz, es de fácil almacenamiento y transporte y puede ser obtenido de diversas materias primas, de las que destaca el gas natural” (López, 1977 p. 4).

Sin embargo, “En la actualidad, el petróleo es relativamente barato en los mercados mundiales. Nuestros expertos nos dicen que con el tiempo las reservas del petróleo – y las de gas natural- se agotarán, pero que todavía faltan 30 o 40 años para que llegue ese momento, tal vez incluso más; tiempo suficiente para proyectar fuentes alternativas de energía” (Rifkin, 2002, p. 14, 15) y de hacer uso

²¹ Actualmente estamos ante una acelerada transformación de la forma y de los vehículos en que nos transportamos y que esto es resultado de las señales económicas que nos envía el mercado. Ejemplo de ello es que el precio del petróleo no va a bajar, lo cual se refleja en la toma de las decisiones en el mundo, por ejemplo la reciente producción de los vehículos llamados híbridos, por lo mismo es que la nueva revolución automotriz este apenas comenzando. *Ibidem* (López Vancell).

²² Emma López Vancell. *Uso del Hidrógeno Como Energético*, P.4. Por ejemplo Cayetano López, Catedrático de Física de la Universidad Autónoma de Madrid, afirma en el boletín 10 de el periódico el País, que la electricidad es una vieja forma y aburrida de distribuir energía que se basa en el movimiento de electrones, ... precisamente la corriente eléctrica no es más que el flujo de los electrones en un material conductor. Pero para moverlos es preciso gastar energía primaria.

²³ El 12 de noviembre del 2004 se inauguró en Washington la primera estación de servicio que suministra hidrógeno en Estados Unidos. El secretario de energía de EEUU, Spencer Abraham, lo inauguró con las siguientes palabras: “Este será el paso hacia una verdadera transición de una economía basada en los Hidrocarburos del pasado a una economía del futuro basada en el hidrógeno”. La novedosa “gasolinera” de la empresa petrolera anglo-holandesa Shell está ubicada a unos siete kilómetros del congreso de los EEUU, en un sector industrial de la ciudad. <http://www.energy.gov/news/1540.htm>

intensivo del petróleo y sobre todo del gas natural, pues en el futuro más inmediato los gobiernos y compañías energéticas se han dirigido como interés principal hacia la exploración y el desarrollo del gas natural. Además durante muchos años los ecologistas y líderes políticos han venido haciendo llamados a la industria para que se utilice el gas natural. Y se ha convertido rápidamente en la actualidad en el combustible elegido para la generación de electricidad, también se usa cada vez más como combustible para el transporte, como se verá más adelante y en la generación de hidrogeno. Pues los nuevos avances tecnológicos que permiten pasar al gas a estado líquido han permitido reducir los costos y han conseguido que resulte competitivo respecto a la gasolina para algunas actividades relacionadas para el transporte” (Rifkin, 2002, p. 155).

“El departamento de energía de Estados Unidos prevé que el consumo de gas natural aumente desde los 0,606 billones de metros cúbicos de 1999 hasta una cifra de entre 0,912 y 1,022 billones de metros cúbicos para el año 2020. Cerca de 57% de incremento irá a parar a la nueva generación de centrales eléctricas de gas y el resto se empleará para cubrir la creciente demanda que se espera en los sectores domésticos, comercial, industrial y del transporte”.²⁴

“La desregulación del mercado del gas natural llevó a un descenso de los precios de este combustible y estimuló nuevos avances en el campo de la generación de electricidad con gas natural. Las nuevas turbinas de gas natural tenían una buena relación coste-eficiencia para potencias iguales o inferiores a los 100 megavatios y requerían una inversión de capital muy inferior a las plantas nucleares o de carbón de 1000 megavatios convencionales. Las nuevas centrales eléctricas de gas requerían menos tiempo de instalación y eran más fáciles de mantener.” (Rifkin, 2002, p. 236, 237).

Lo que dio por resultado que “... En la actualidad, la tecnología más popular en el campo de la generación energética a pequeña escala son los motores alternativos alimentados con gas natural o combustible diesel. ... “Sin embargo, los expertos

²⁴ Market Trends – Oil & Natural Gas. Annual Energy Outlook 2001, informe DOE/EIA-0383(2001,22 de diciembre de 2000, [Http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/gas.html))

coinciden cada vez más en que a largo plazo el dominio y el liderazgo en el mercado de la generación distribuida corresponderá a la pila de combustible de hidrógeno.” (Chambers, 2001, p. 18)

Sintetizando lo expuesto anteriormente, se demuestra que no pasará mucho tiempo para que las reservas del petróleo se agoten y se intensifique el uso del gas natural y al mismo tiempo usarlo como fuente primaria para producir hidrógeno en primera instancia, por lo que después será necesario encontrar métodos nuevos para obtener energía de las fuentes posibles, al menor costo. Una forma de manejar y aprovechar las diversas fuentes primarias de energía es utilizarlas para convertir agua en hidrógeno en grandes plantas centrales, y usar este como combustible limpio, no contaminante. Para la producción de hidrógeno en grandes cantidades, se tienen bastantes procedimientos para su obtención, sin embargo se pueden clasificar en dos grandes grupos: el primero es el que se obtiene a partir de hidrocarburos y el segundo es el que resulta de la descomposición del agua para producir hidrógeno. Más adelante se detallará debidamente este punto.

2.2 Tendencias y perspectivas.

El comportamiento del sistema energético está en función no solo de las magnitudes sobre el tamaño de la oferta y demanda energética para cada tipo de energético primario sino también de las políticas que en un futuro se consiga aplicar.²⁵ Resultado de esto es que se tenga poca credibilidad de los números debido a las grandes incertidumbres a largo plazo. Ejemplo de ello es como los analistas con gran dificultad predicen el precio del barril del petróleo a un año en el futuro. El análisis de este apartado radica en resaltar los aspectos cualitativos importantes para tomar los números como datos válidos para tener una conclusión

²⁵ Al respecto el propio U.S. Department of Energy en su Energy Information Administration (International Energy Outlook 2009, P. 4) reconoce que la perspectiva para el carbón, en particular, podría ser sustancialmente alterada por cualquier futura legislación que pudiera reducir o limitar el aumento de las emisiones del gas de invernadero.

a largo plazo a partir de los datos oficiales del Departamento de Energía de los Estados Unidos (International Energy Outlook IEO 2009).

En las proyecciones registradas en IEO 2009, el consumo mundial total del mercado de energía, está proyectado a incrementarse en un 44% de 2006 al 2030. La mayor proyección registrada del incremento de la demanda de energía (ver Tabla 1), se tiene en los economías no pertenecientes a la Organisation for Economics Co – Operation and Development OECD.

TABLA 1

Table 1. World Marketed Energy Consumption by Country Grouping, 2006-2030
(Quadrillion Btu)

Region	2006	2010	2015	2020	2025	2030	Average Annual Percent Change, 2006-2030
OECD	241.7	242.8	252.4	261.3	269.5	278.2	0.6
North America	121.3	121.1	125.9	130.3	135.6	141.7	0.6
Europe	81.6	82.2	84.8	87.9	90.0	91.6	0.5
Asia	38.7	39.5	41.8	43.1	43.9	44.6	0.6
Non-OECD	230.8	265.4	299.1	334.4	367.8	400.1	2.3
Europe and Eurasia	50.7	54.0	57.6	60.3	62.0	63.3	0.9
Asia	117.6	139.2	163.2	190.3	215.4	239.6	3.0
Middle East	23.8	27.7	30.3	32.2	34.6	37.7	1.9
Africa	14.5	16.2	17.7	19.1	20.6	21.8	1.7
Central and South America	24.2	28.3	30.3	32.5	35.2	37.7	1.9
Total World	472.4	508.3	551.5	595.7	637.3	678.3	1.5

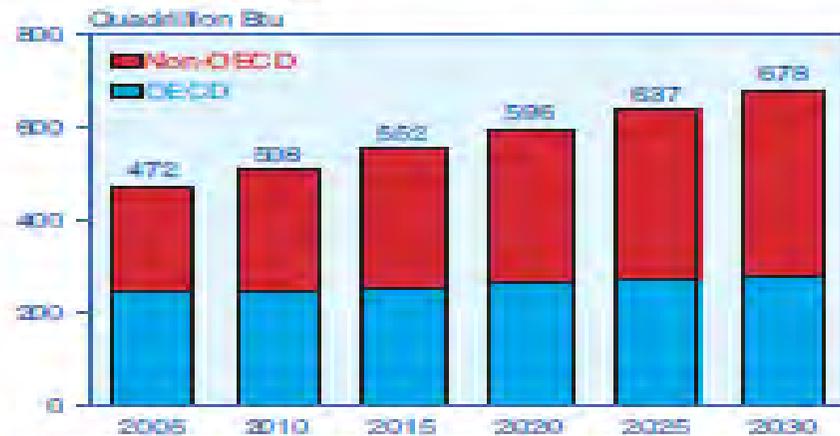
Note: Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

Sources: 2006: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2006* (June-December 2008), web site www.eia.doe.gov/iea. Projections: EIA, *World Energy Projections Plus* (2009).

“En estas proyecciones se muestra, que los combustibles líquidos permanecen como la mayor fuente de energía, su participación en el mercado mundial de la demanda de energía, se pronostica que disminuirá de 36% en 2006 a 32% en 2030, resultado registrado por que con los precios mundiales del petróleo han llevado a que los usuarios de energía busquen alternativas, especialmente en el sector industrial y de la energía eléctrica, como se expondrá, más adelante, es factible a muy corto plazo (IEO, 2009, p. 1) (ver gráfico 2 y 3)

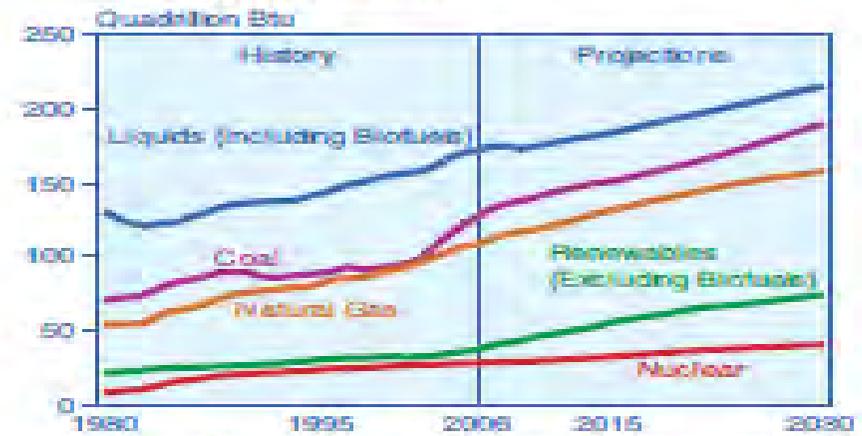
GRÁFICO 2

Figure 1. World Marketed Energy Consumption, 2006-2030



Sources: 2006: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2006* (June-December 2008), web site www.eia.doe.gov/iaa. Projections: EIA, *World Energy Projections Plus* (2009).

Figure 2. World Marketed Energy Use by Fuel Type, 1980-2030



Sources: 2006: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2006* (June-December 2008), web site www.eia.doe.gov/iaa. Projections: EIA, *World Energy Projections Plus* (2009).

GRÁFICO 3

Figure 25. World Liquids Consumption by Region and Country Group, 2006 and 2030



Sources: 2006: Derived from Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual 2006 (June-December 2008), web site www.eia.doe.gov/iaa, 2030: EIA, World Energy Projections Plus (2009).

Figure 26. World Liquids Supply in Three Cases, 2006 and 2030



Sources: 2006: Energy Information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, 2030: EIA, Generate World Oil Balance Model (2009).

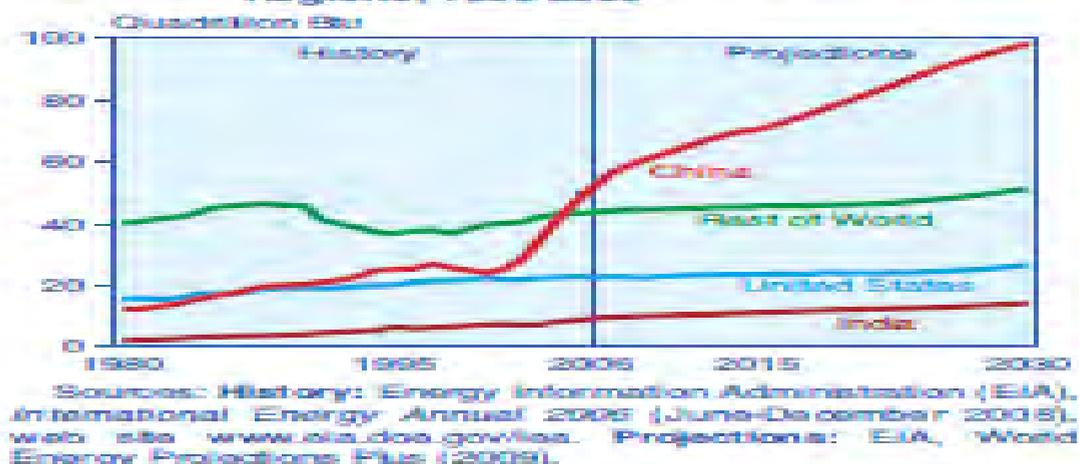
En el sector transportes, el consumo de líquidos en las proyecciones destaca que especialmente en las regiones que no están dentro de la OECD es donde existen más oportunidades para el cambio de combustible. En el mundo las proyecciones del consumo de energía en este sector registran un incremento en promedio de de 2.7% por año en el periodo 2006-2030. (IEO, 2009, p. 5)

Con respecto al carbón se debe de mencionar antes que esta perspectiva no toma en cuenta las decisiones futuras de legislación de las emisiones de CO₂ las cuales afectarían sustancialmente el total de las proyecciones al 2030 de las cuales reducirían mucho su participación. Por otro lado el carbón a nivel mundial registra en las proyecciones de la EIA2009 que se incrementará por 1.7% por año en promedio del 2006-2030, es decir, se incrementará su consumo en el mundo para el 2030 por 49%(de 127.5 quadrillones Btu²⁶ en 2006 a 190.2 quadrillones Btu en el 2030) y registra 28% del total del consumo de energía mundial. Son Estados Unidos, China e India de los que se espera que cambien al carbón en lugar de los combustibles más caros. Las tres naciones juntas registran un 88% de incremento neto en la proyección en su consumo en el periodo 2006 al 2030. Sin embargo en OECD-Europa y Japón son los únicos países que han disminuido su consumo de carbón en estas proyecciones (ver gráfico 4). (IEO 2009, p. 9, 10)

²⁶ Miles de billones de Btu (importaciones netas) y Btu es la cantidad de energía que se requiere para elevar en un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua en condiciones atmosféricas normales.

GRAFICO 4

Figure 15. Coal Consumption in Selected World Regions, 1980-2030

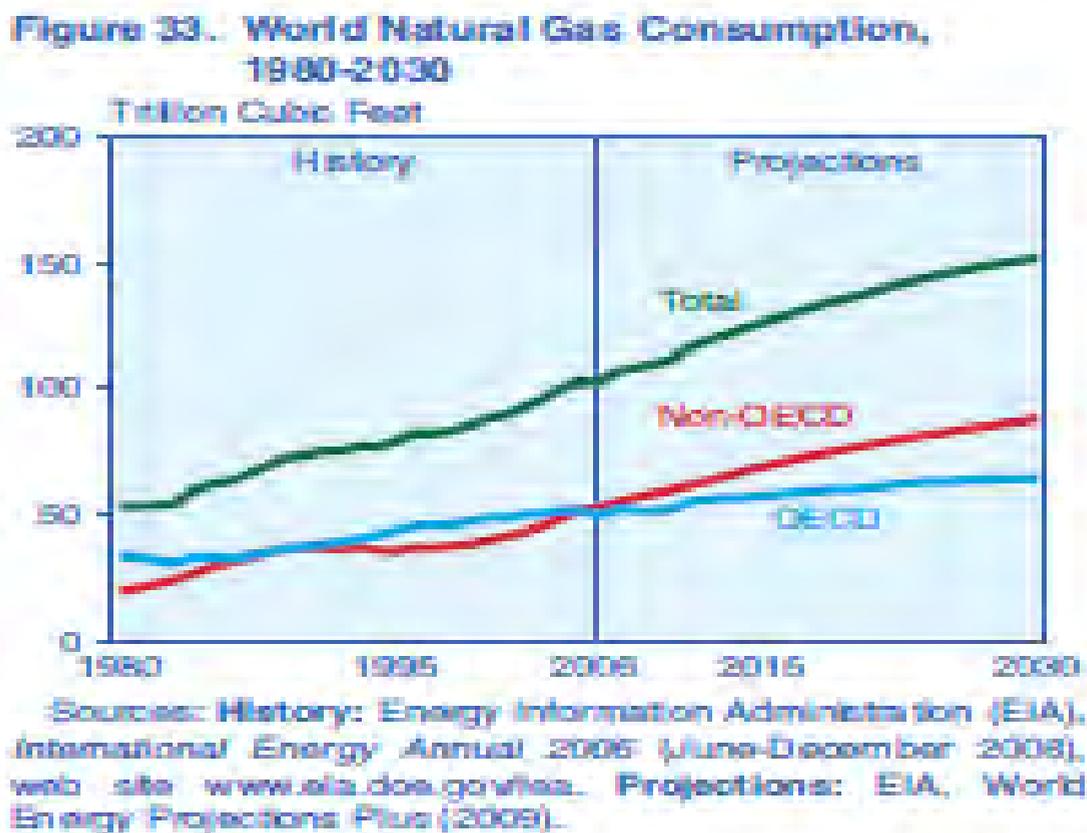


En las proyecciones de la EIA el consumo mundial de gas natural se incrementa de 104 trillones de pies cúbicos en el 2006 a 153 trillones de pies cúbicos en 2030. Actualmente el sector industrial consume más gas natural que cualquier otro sector de uso final y se espera que permanezca así hasta el 2030, donde el 40% de la oferta del gas natural en el mundo es usada para propósitos industriales. Además el gas natural permanece como un importante combustible para la generación de electricidad en el mundo, pues es más eficiente y emite mucho menos CO₂ que los otros combustibles fósiles como se verá más adelante en detalle. En el mundo, el consumo de gas natural se incremento por un promedio de de 1.6% por año (de 104 trillones de pies cúbicos en el 2006 a 153 trillones de pies cúbicos en el 2030. (IEO, 2009, p. 9) En particular, se prevé que las plantas petroquímicas dependan cada vez más del gas natural como una materia prima. Siendo el Medio Oriente donde los principales productores de petróleo trabajan para maximizar los ingresos provenientes de las exportaciones de petróleo y cambiando al gas natural para sus usos domésticos. (IEO, 2009, p. 35)

En las proyecciones los países miembros de la OECD consumieron en el 2006 52 trillones de pies cúbicos de gas natural, excediendo el consumo de gas de la

OECD por primera vez desde la caída de la Unión Soviética. En estas proyecciones el consumo del gas natural en los países no pertenecientes a la OECD aumenta más del doble de rápido en su consumo que los países pertenecientes a ella, con 2.2% por promedio anual de crecimiento en el periodo del 2006 al 2030, comparado con un promedio de 0.9% para las naciones pertenecientes a la OECD. Los países no pertenecientes a la OECD representan el 74% de incremento en el consumo mundial total de gas natural en el periodo proyectado, y su participación del consumo total mundial de gas natural se incrementará del 50% en el 2006 al 58% en el 2030 (ver el gráfico 5). (IEO, 2009, p. 35)

GRÁFICO 5



Los países de la OECD representan el 38% de la producción total mundial de gas natural y 50% del consumo en el 2006. Haciéndolos dependientes de las

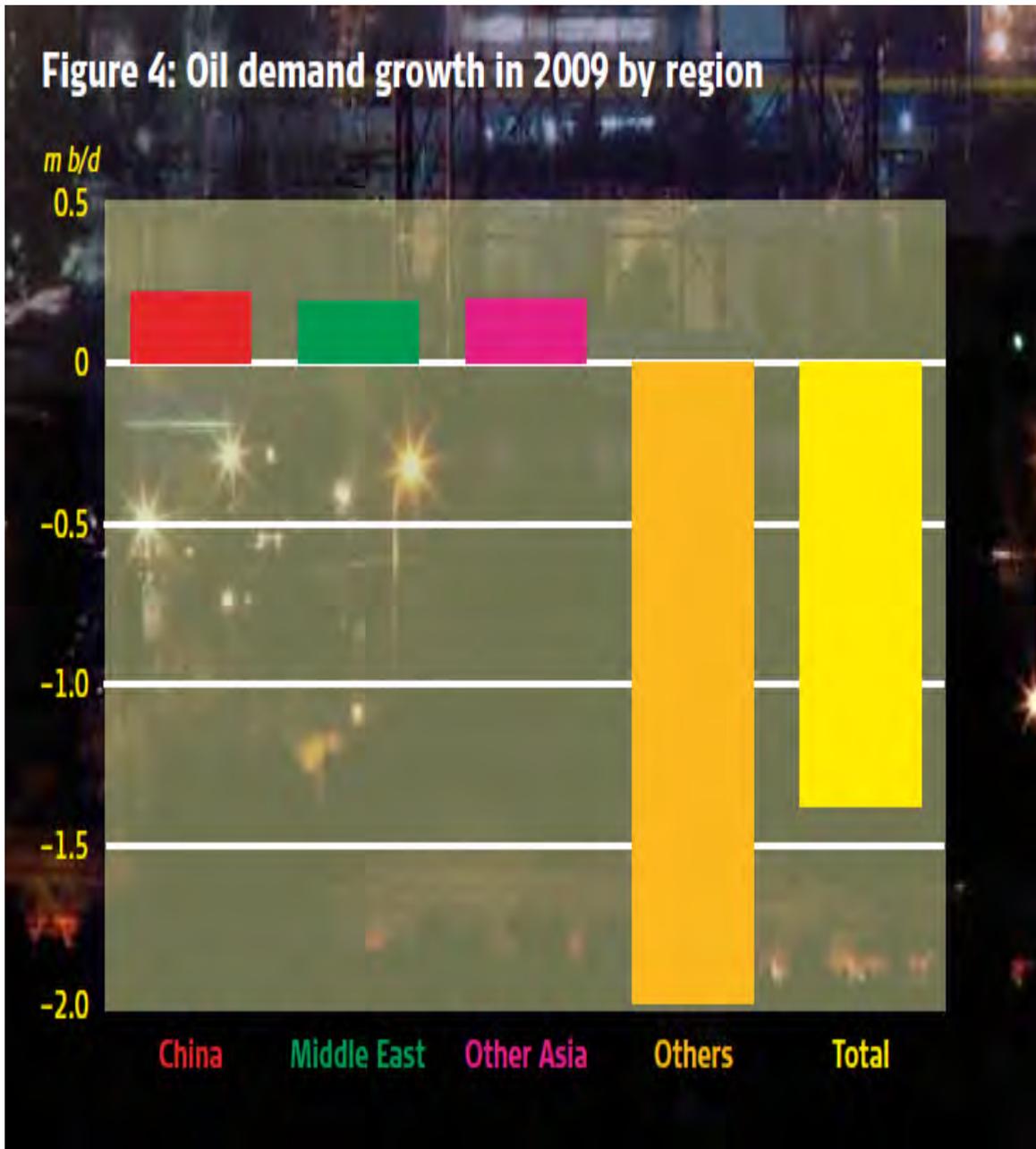
importaciones de los países no pertenecientes a la OECD, registrando el 25% de su total consumido. En las proyecciones de la EIA para el 2030 las naciones de la OECD registran en 31% la producción y en 42% el consumo de gas natural. (IEO, 2009, p. 35)

Sin embargo en Norte América se incrementará por un promedio de 0.8% por año del 2006 al 2030, siendo los Estados Unidos el más grande consumidor de gas natural del mundo, registrando el mayor aumento en su consumo hacia el sector de energía eléctrica como consecuencia de las nuevas legislaciones donde se limita la emisión de gases de invernadero. Sin embargo registra un lento aumento de consumo en los sectores de uso final. Las nuevas legislaciones son muy importantes pues redirigirán estas proyecciones sustancialmente, pues estimularían las inversiones donde el gas natural tenga menos intensidad de carbón, esto daría por resultado que los costos de capital para nuevas centrales de gas natural sean inferiores a los de las alternativas nucleares y renovables. (IEO, 2009, p. 36)

Demanda Mundial de petróleo por regiones

En el caso del petróleo, se ha observado una demanda cada vez mayor por parte de China. (ver gráfico 6)

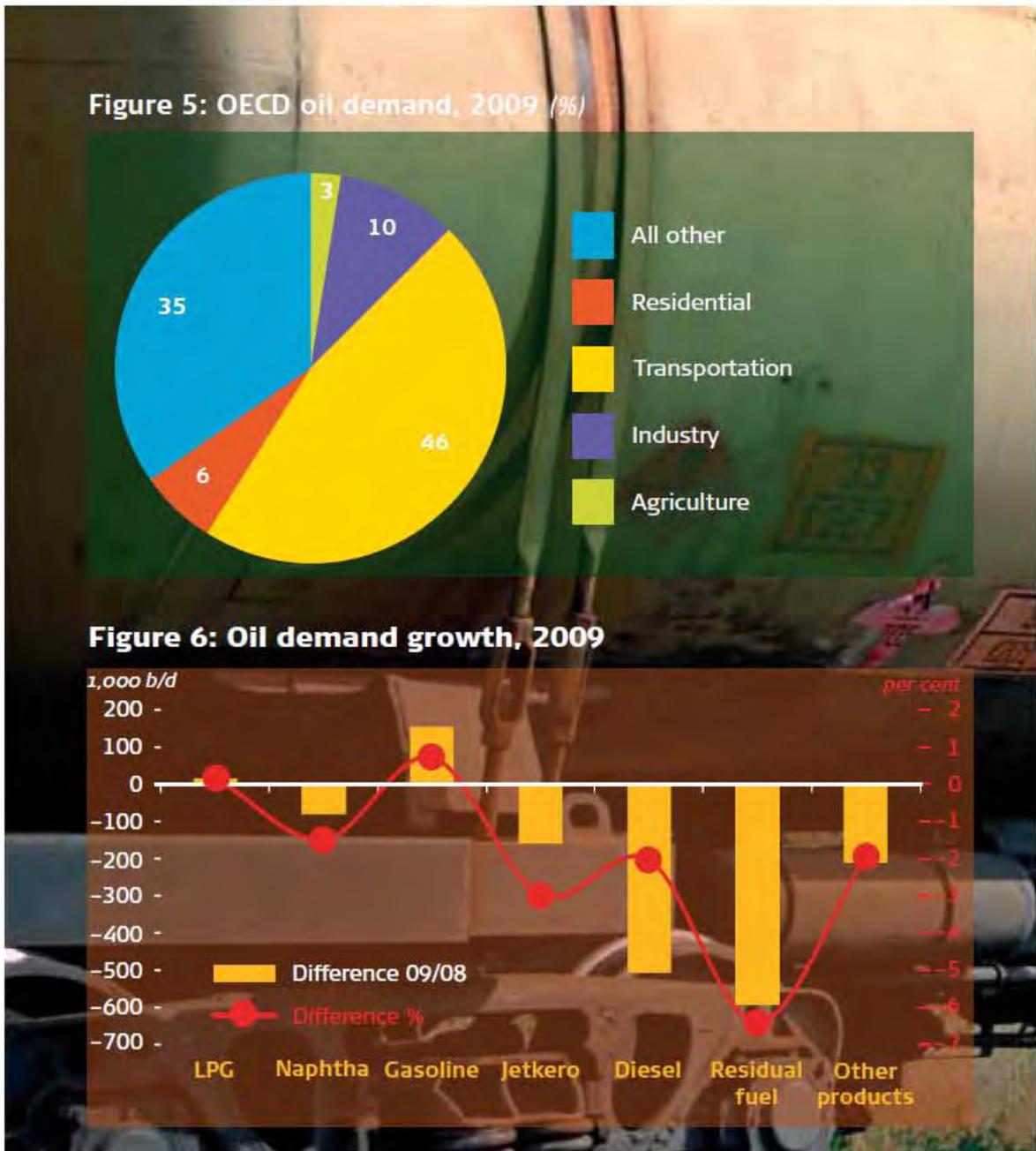
GRÁFICO 6



Fuente: Word Oil Outlook, 2009

El grafico 7 muestra un comparativo de la utilización por sector de la demanda de petróleo, siendo el sector transportes el mayor demandante del mismo (con un 46%).

GRÁFICO 7



Fuente: Word Oil Outlook, 2009

En la siguiente tabla, se muestra la oferta de petróleo a nivel mundial, por región y por país, de acuerdo a la OPEP.

TABLA 2

Table 1.11
World oil supply outlook in the Reference Case

mb/d

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
US & Canada	10.8	10.9	11.5	12.1	12.5	13.1
Mexico	3.2	2.8	2.5	2.5	2.4	2.3
Western Europe	5.0	4.6	4.0	3.8	3.7	3.6
OECD Pacific	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
OECD	19.6	19.0	18.7	19.1	19.3	19.6
Latin America	4.1	4.4	4.9	5.6	6.0	6.2
Middle East & Africa	4.4	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8
Asia	3.8	4.1	4.2	4.3	4.2	3.8
China	3.8	3.9	4.0	4.0	4.2	4.4
DCs, excl. OPEC	16.1	16.7	17.3	18.0	18.3	18.3
Russia	9.8	9.6	10.2	10.5	10.6	10.6
Other transition economies	2.9	3.4	4.0	4.4	4.7	5.1
Transition economies	12.7	12.9	14.2	14.9	15.4	15.7
Processing gains	1.9	1.9	2.2	2.3	2.5	2.7
Non-OPEC	50.3	50.6	52.4	54.3	55.4	56.3
of which: non-conventional	3.1	3.5	5.0	6.8	8.6	10.7
NGLs	5.5	5.7	6.2	6.8	7.0	7.2
OPEC NGLs	4.3	4.7	5.8	6.7	7.4	8.0
OPEC GTLs*	0.0	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5
OPEC crude	31.2	29.3	32.0	34.3	37.4	41.1
World supply	85.8	84.7	90.5	95.7	100.7	105.9

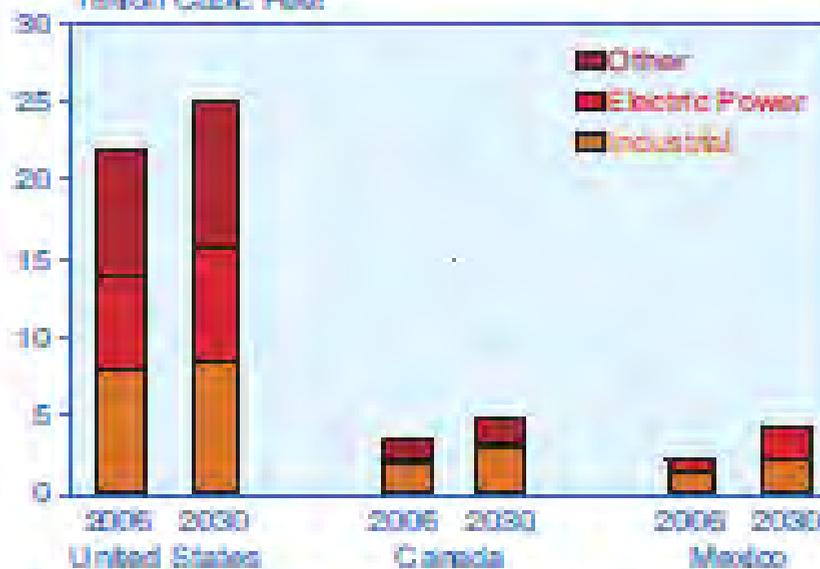
* Includes other non-conventional oil, mainly MTBE and orimulsion. Future growth in non-conventional oil is expected to be dominated by GTLs.

Fuente: World Oil Outlook, 2009

Después del 2025, en Estados Unidos el aumento en el consumo del gas natural en las proyecciones para la generación de energía eléctrica es muy lento por el aumento de su precio, dando como resultado el aumento de la generación de las energías renovables y de las nuevas como el hidrógeno, como se verá más adelante en detalle. Todo esto daría como resultado que el gas natural como combustible de generación de electricidad en 2030 será del 94% del cual el 2025 es el nivel pico. (ver gráfico 8) (IEO; 2009, p. 36)

GRÁFICO 8

Figure 34. Natural Gas Consumption in North America by Country and Sector, 2006 and 2030
Trillion Cubic Feet



Sources: 2006: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2006* (June-December 2008), web site www.eia.doe.gov/ia. Projections: EIA, *World Energy Projections Plus* (2009).

A continuación de manera general se expondrá los aspectos químicos técnicos del gas natural y del hidrógeno con sus posibles fuentes de energía primaria de cada

una de las técnicas que descomponen el agua, después se desarrollará con mayor detalle el uso del gas natural para la obtención de hidrógeno.

Capítulo III Gas Natural-Hidrógeno

3.1 Gas natural y otros energéticos gaseosos.

Seguiremos con el estudio de los energéticos gaseosos, en especial al de mayor trascendencia económica: el gas natural, además haremos mención de algunos gases que tiene o han tenido alguna relevancia económica. A continuación se mostraran sus propiedades más significativas.

El gas de hulla, está constituido por un conjunto de diversos gases combustibles extraídos a partir de la destilación seca de la hulla., su capacidad calorífica es muy baja, de unas 4200 kcal/Nm³. En sus inicios este gas se obtenía de la hulla, pero con el paso del tiempo se percibió que era más conveniente producirlo a través del cracking de naftas, siendo éste el método que más se usa. El gas de coque se obtiene como un subproducto en la fabricación del carbón de coque. Su capacidad calorífica y económica es parecida al de gas de hulla. Era muy utilizado el uso de este gas en la antigüedad, siendo que en algunas regiones de Europa su importancia aún prevalece.

Los gases de refinería están formados por: metano, etano e hidrógeno; los cuales se desprenden en la primera fase del refino y una de sus propiedades radica en que no son condensables, o lo son sólo empleando procedimientos muy complejos y costosos. El gas de horno se obtiene al ser calentado y combinado el coque con el oxígeno en el horno alto, durante el proceso de producción del arrabio. Sus propiedades caloríficas son muy bajas pues tiene 800 kcal/Nm³, su empleo se concentra totalmente al autoconsumo en el propio centro de producción o alrededor de ello.

El gas natural fue la fuente de energía que más ha trascendido de entre todas las fuentes gaseosas de energía. “El gas natural se ha definido como una mezcla de hidrocarburos, y de pequeñas cantidades de diversas materias que no son hidrocarburos, existentes en los depósitos subterráneos naturales bajo forma gaseosa o en solución con el petróleo crudo y recuperable en la superficie bajo forma gaseosa en condiciones particulares de temperatura y presión. Los principales hidrocarburos de la mezcla son el metano, el etano, el propano, el butano y los pentanos. Los gases inertes o elementos que no son hidrocarburos y pueden estar contenidos en el depósito de gas natural son: el anhídrido carbónico, el helio, el ácido sulfhídrico y el nitrógeno”. (Organización Latinoamericana de Energía OLADE, varios años).

“Su génesis se atribuye a la adición de fuerzas naturales varias sobre la materia orgánica a través de los tiempos siguiendo pasos similares a los del carbón y petróleo como lo demuestra la circunstancia que suele presentarse en conjunción de los mismos” (Acevedo, 1981, p. 113). De hecho el término gas natural se refiere específicamente a las mezclas de gases combustibles hidrocarbonados o no, que se encuentran en el subsuelo, donde en ocasiones, aunque no siempre se hallen asociados con petróleo líquido. Por lo tanto y a pesar del uso limitado de la definición, no es apropiado ni debido el término gas natural más que genéricamente para cubrir una amplia gama de mezcla de gases, cuyas composiciones y poderes calóricos pueden variar ampliamente.

“La composición química del gas natural es sumamente heterogénea en términos de la proporción de sus gases conformantes. El constituyente predominante es el metano, con una participación variable del 75%; su importancia dentro del total de componentes, ha hecho que habitualmente se denomine al gas natural como metano, simplemente. Los otros hidrocarburos gaseosos, sobre pasan en la proporción muy raramente el 15% del total siendo el etano por lo general el segundo componente en relación. Usualmente los constituyentes no hidrocarbonados no tienen utilidad práctica inclusive son poco deseables, pues

disminuyen el rendimiento energético y aun producen efectos contaminantes y corrosivos inconvenientes, la única excepción a la anterior lo reviste el Helio el cual, dependiendo de su participación porcentual, puede ser aprovechado comercialmente” (Acevedo, 1981, pp. 113, 114) Dependiendo de la agrupación o disociación del gas natural con el petróleo en el momento de su extracción se le designa como gas asociado o no asociado... “el caso de gas asociado, el contenido de etano es generalmente más alto que los gases no asociados, y suelen contener también cantidades importantes de propano y de hidrocarburos más pesados...” (Centeno, 1974, p. 280).

“Si el gas natural contiene volúmenes significativos de etano, butano, propano y gases más pesados, se le denomina gas húmedo. Estos hidrocarburos, conocidos como líquidos del gas natural, se encuentran en estados gaseosos en los yacimientos. Al estar bajo presión atmosférica a temperatura normal se licuan lo más pesados. Al aplicarse una presión mayor, se licuan los más ligeros, como el propano, el butano, y sus mezclas, que se conocen como gases licuados del petróleo (Gas LP). Las gasolinas naturales incluyen todos los líquidos del gas natural a excepción del etano. Cuando la presencia de líquidos del gas natural es insignificante, se habla de gas de seco (metano). Si el gas contiene una dosis apreciable de azufre, que con humedad se convierte en sulfhídrico se denomina gas amargo, cuando este ácido no se encuentra en este gas se le denomina gas dulce...” (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, SEPAFIN, 1970 – 1976).

Existe otra clase de gas natural la cual se le denomina gas húmedo, se le considera así porque su constitución encierra grandes volúmenes de etano, propano, butano, y gases más pesados, los cuales se encuentran en los yacimientos en el estado gaseoso y llamados comúnmente como líquidos del gas natural. “Al estar bajo presión atmosférica a temperatura normal, se licuan los más pesados. Al aplicarse una presión mayor, se licuan los más ligeros, como el propano, el butano y sus mezclas que se conocen como gases líquidos del petróleo (gas LP). Las gasolinas naturales incluyen todos los líquidos del gas

natural a excepción del etano. Cuando la presencia de líquidos del natural es insignificante, se habla de gas seco (metano). Si el gas contiene una dosis apreciable de azufre, que con humedad se convierte en ácido sulfhídrico, se le denomina gas amargo. Cuando este ácido no se encuentra presente en el gas, se le denomina gas dulce...” (Acevedo, 1981, p. 115).

La utilización del gas natural data de unos dos mil años, China fue el fundador del empleo del gas natural utilizando los tubos de bambú para poder alumbrar a la clase privilegiada de su civilización. En la sociedad moderna el fundador del empleo del gas natural fue Estados Unidos, los antecedentes de este país nos muestran que en los inicios del siglo XVIII en Nueva York fue el que empezó a utilizar el gas natural para cocinar y como fuente de calefacción, pero aun con esto fue hasta aproximadamente a mediados de 1925 que su uso comercial empezó. (Acevedo, 1981, p. 115).

Los siguientes, son los componentes principales del gas natural, estos varían según el yacimiento:

TABLA 3

Componente	%	Componente	%
Metano	95,0812	i-pentano	0,0152
Etano	2,1384	Benceno	0,0050
Propano	0,2886	Ciclohexano	0,0050
n-butano	0,0842	Nitrógeno	1,9396
i-butano	0,0326	CO ₂	0,3854
n-pentano	0,0124	Otros	0,0124

Fuente: elaboración propia

Todo esto demuestra que el gas natural ha sido indudablemente desaprovechado, hasta fue quemado en grandes volúmenes de forma inútil en las antorchas de los pozos petroleros. Las complicaciones tecnológicas que se tuvieron en la distribución de los gases, retardó su consumo masivo. Estos problemas radican principalmente que en el siglo antepasado su poder calorífico por unidad de volumen es enormemente bajo, alrededor de 1000 veces inferior con respecto al petróleo crudo, por lo tanto es necesario para su comercialización el disponer de enormes volúmenes del gas natural. Lo que para su conjunción es menester movilizar el gas natural a fuertes presiones por las tuberías, especialmente en el momento en que los sitios de producción son apartados de los sitios de consumo. Para llevar a cabo el transporte del gas natural en su uso comercial, se necesita, clases de materiales que soporten adecuadamente las presiones elevadas, de la misma manera que contengan la propiedad de ser anticorrosivos;²⁷ y además, que entre los tramos de la tubería se requiere que las ensambladuras sean suficientemente resistentes. El desarrollo de las fuerzas productivas no desarrolló la utilización del gas natural, a pesar de saber de los múltiples beneficios de su utilización, más que en las inmediaciones de los depósitos, en menor escala. (Acevedo, 1981, pp. 116, 117)

“Se intentó emplear conducciones de plomo y de hierro forjado para su difusión, pero no funcionó, pues era impracticable llevar el gas a presiones altas, lo que daba por resultado que las conducciones solo se podían utilizar para distancias cortas, y en los Estados Unidos los yacimientos de gas se localizaban a gran distancia de cualquier probable mercado”. (Tugendhat, 1969, p. 226) “Fue hasta 1920 que fue posible merced al desarrollo del progreso técnico de la década que se pudo construir y soldar tuberías capaces de resistir altas presiones y como consecuencia que se pudiera movilizar el gas en distancias muy lejanas, y esto dio por resultado que se hiciera posible su comercialización a gran escala, es decir su uso masivo” (Centeno, 1974, p. 282).

²⁷ Esta propiedad es necesaria para evitar la corrosión ocasionada por el ácido sulfhídrico.

“La utilización de su difusión en un principio fue moderada, y centrada básicamente en Norteamérica; el inicio de su crecimiento vigoroso surge a partir de la segunda postguerra, en la cual incrementa notoriamente su dinámica de expansión, y se extiende su empleo a Europa Occidental” (Acevedo, 1981, p. 118).

Por los grandes beneficios del empleo del gas natural, su desarrollo fue muy buscado, pues a pesar de los problemas que se tuvieron en el transporte, no se dejó de investigar en sus aplicaciones y la solución de las dificultades, ejemplo de ello fue, que siendo un subproducto en la explotación de petróleo (en general tenía la fama de ser indeseable), el costo de su extracción se designaba en el precio del crudo, dándole así competitividad en el mercado. Sus beneficios como combustible son enormemente superiores al derivado del petróleo, ejemplo de ello es que: su combustión no deja humo ni cenizas, no necesita instalaciones de almacenamiento en los lugares de consumo, el calor de su llama se regula fácilmente y se puede encender y apagar de igual modo.

En los inicios del empleo del gas natural se utilizaba en industrias como el envasado de productos alimenticios, cristal, cerámica y transformados metálicos, donde en el gas natural resaltan sus cualidades de su manejo limpio y fácil. “El gas no solo se centró en estos usos, ni los demás combustibles lo pudieron rezagar a estos usos particulares, y hoy en día se emplea tanto en lo anterior como en cualquier tipo de actividad industrial en sustitución del carbón y el petróleo, como fuente de calor y energía. En la Segunda Guerra Mundial se utilizó como materia prima (aunque en pequeña escala) en la industria petroquímica, pues en aquella época esta industria alcanzó un gran auge y consiguió invenciones e innovaciones aparejadas. Precisando, en la industria petroquímica los principales avances se tuvieron por su refinación, pues de ella resultaron materias primas básicas para la esta industria: etileno, propileno y butano, esto en su conjunto es a lo que se llama gasoquímica y es la materia prima fundamental para la producción de proteínas, fertilizantes y plásticos” (Tugendhat, 1969, 228).

“Es menester resaltar las cualidades de los componentes de este valor de uso: en primer lugar los usos de los elementos del gas natural es distinto: como fuente de calor el metano es el elemento principal; el butano y el propano son los que tienen el uso comercial como gases licuados del petróleo. En su calidad de materia prima, el metano no tiene mucha jerarquía debido a que precisamente se obtienen de él las materias primas que sí son de mucha trascendencia: amoniaco, metano y negro de humo; estos compuestos hidrocarburoados sin embargo, son los que trascienden por encima debido a que a partir de ellos se derivan múltiples productos petroquímicos” (Acevedo, 1981, pp.119, 120).

En lo concerniente al desarrollo del progreso de su movilización, los beneficios económicos y técnicos del gas natural llevaron al persistente desarrollo e innovación de las técnicas de su transporte, aunque en un inicio representaba su alto costo relativo un problema de mucha importancia, lo cual implicó que se limitara su distribución a cortas distancias y se pausara su distribución internacional. La dinámica del gas natural en el plano del comercio internacional es creciente y reducido, hecho que lo diferencia en su historia con respecto a la del petróleo, pues debido a su gran necesidad del proceso de licuefacción para ser transportado a través del océano, traía consigo costos y riesgos elevados, resultado de la alta complejidad técnica del proceso.

“Un hecho significativo es que la invención para licuar al gas natural (al metano) se conocía desde 1917; en aquel entonces solo tenía trascendencia lo referente a lograr su transporte. Tuvieron que pasar 42 años (1952) para que se construyera el buque tanque llamado Methane Pioneer, con el cual se logró que se transportara en estado líquido” (Acevedo, 1981, p. 121). La importancia de su comercio internacional no ha sido elevada, “de hecho, y hasta la crisis de Octubre de 1973, con el enorme incremento de los precios del petróleo en particular, y de la energía en general, los elevados costos de las técnicas de transporta no habían permitido crear un verdadero mercado mundial de gas ... En el momento actual sin embargo, con el nivel de precios de las energías alternativas, el transporte de gas a cualquier lugar del mundo resulta ya posible...” (Centeno, 1974, p. 292, 293).

Concluyendo: el gas natural un el combustible fósil menos contaminante que el petróleo o el carbón, el primero produce un tercio más de CO₂ que el gas por unidad equivalente de energía producida, el carbón produce dos tercios más. Además se han encontrado grandes yacimientos sin estar acompañado de petróleo o de carbón.²⁸ También se sabe que el gas natural "... a la vez que obtiene una mayor eficiencia energética en las centrales de ciclo combinado (turbinas de gas y vapor) su utilización para producir electricidad representa un 26 %, frente a un 36 % para usos domésticos y un 35 % para usos industriales (según la EIA). La producción mundial de gas natural durante los últimos 25 años ha aumentado en todo el mundo excepto en los Estados Unidos. Donde crece más es en Rusia, Holanda, China y en Oriente Medio. En Europa sigue creciendo a pesar de la disminución de Inglaterra. La relación entre reservas y producción a nivel mundial (R/P según BP) se encuentra alrededor de los 65 años, concentradas en un 40.1 % en Oriente Medio, seguidas por un 35.6 % en la región de Europa y EuroAsia" (Grau, 2009).

Con todo lo anterior se puede decir que el gas natural es actualmente un mercado emergente, con mucho potencial aun por desarrollar, pues aun no se ha colocado como con el status de "commodity"²⁹ (bien transferible) comercializado globalmente, como lo es el petróleo, cuando llegue esto se tendrán cambios muy significativos en la economía global, con grandes oportunidades, sin embargo aumentaran los riesgos, interdependencias y lineamientos geopolíticos.

²⁸ "Los yacimientos de petróleo casi siempre llevan asociados una cierta cantidad de gas natural, que sale a la superficie junto con el cuando se perfora el pozo. Sin embargo, hay pozos que proporcionan solamente gas natural." www.fisicanet.com.ar/energias/gases/en01_gas_natural.php.

²⁹ Término inglés utilizado para referirse, sobre todo, a las materias primas que son objeto de negociación en mercados organizados: petróleo y gas natural, minerales, metales preciosos, trigo, azúcar, etcétera.

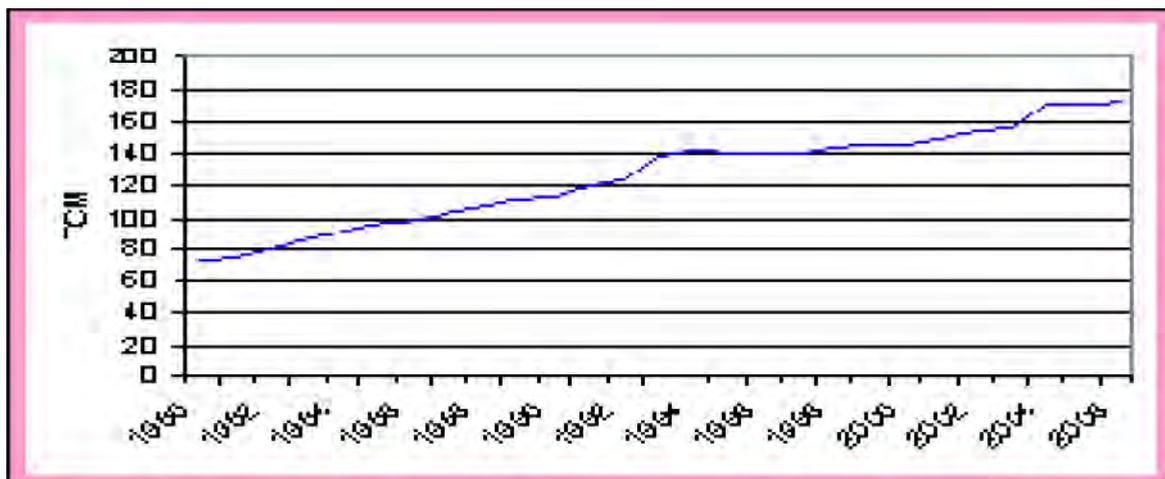
http://www.cajamadridempresas.es/CajaMadrid/Portal_OIE/templates/PT122_oie2?letra=c

GRÁFICO 9
Consumos Mundiales de Gas Natural



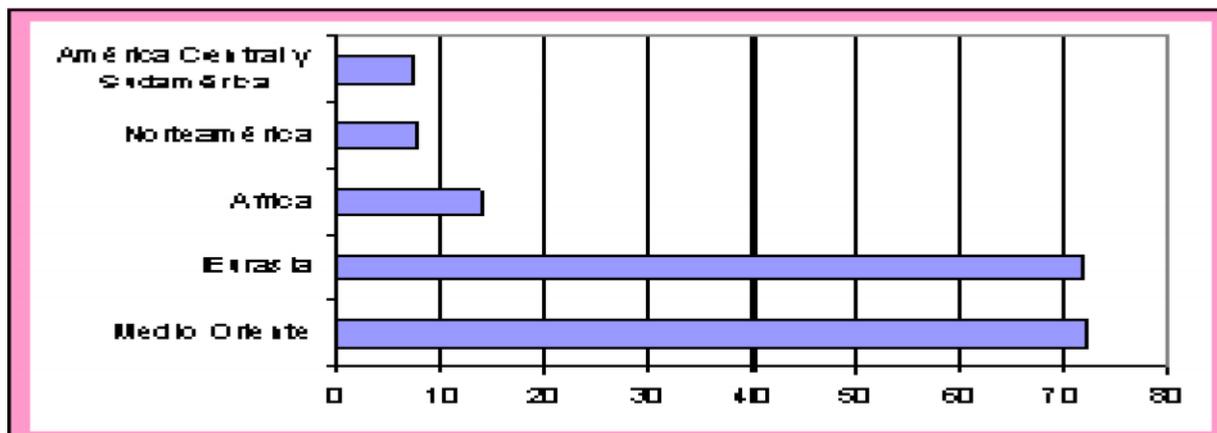
Fuente: Oil & Gas Journal, 2006

GRÁFICO 10
Reservas Mundiales de Gas Natural. En detalle al año 2006



Fuente: Oil & Gas Journal, 2006

GRÁFICO 11

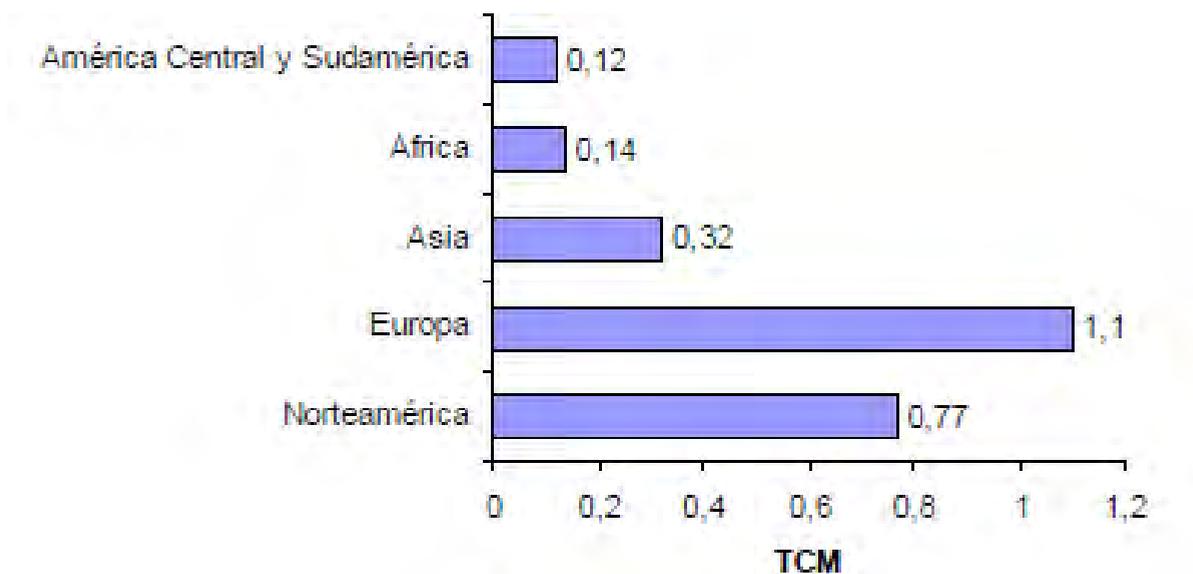


* Eurasia representa la unión de los países europeos y asiáticos, sin incluir al Medio Oriente.

Fuente: Oil & Gas Journal, 2006

GRÁFICO 12

Producción de gas natural por región. Año 2005



Fuente: Oil & Gas Journal, 2006

TABLA 4

	<i>TCM</i>	<i>% Reservas Anteriores</i>		<i>TCM</i>
Irán	0.9	3%	Bangladesh	0.17
Arabia Saudita	0.2	3%	Argentina	0.09
Noruega	0.3	14%	Taiwán	0.06
Nigeria	0.26	5%	Alemania	0.03
Indonesia	0.2	8%	Inglaterra	0.03

TCM = Trillion Cubic Meters

Fuente: Fuente: Oil & Gas Journal, 2006

De manera general los datos anteriores nos muestran que debido a sus características ya antes señaladas (contaminación ambiental, menor costo y mayor nivel de eficiencia en a generación térmica), el crecimiento del consumo del gas natural en los últimos 25 años según la EIA ha sido del 3.1% por año en promedio, excediendo el consumo de otras fuentes energéticas como el petróleo registrando 1.1% y el carbón con 1.9%. Estos consumos están destinados principalmente al sector industrial con un 44% y al sector eléctrico con un 31% de la demanda total.

Que se incremente la demanda o consumo de gas natural, depende principalmente de cuantas reservas probadas y probables se tengan a nivel mundial. Afortunadamente para el creciente mercado, esta es una tendencia que se ha mantenido históricamente. A pesar de los altos niveles de consumo, esta tendencia alcista en cuanto a reservas de gas natural, ha permitido mantener una alta tasa reserva-producción, la que en cuanto cifras mundiales es de 66.7 años.³⁰

En las gráficas anteriores se muestra como de enero del 2005 a enero del 2006 aumentó un 1% más las reservas probadas, es decir se estimó en 173.1 trillones de metros cúbicos más.³¹ Irán ha sido el que ha incrementado sus reservas, otros

³⁰ (2005) "Worldwide Look at Reserves and Production" *Oil & Gas journal*, December 19.

³¹ (2005) British Petroleum, *Statistical Review of World Energy*, June

países como Arabia Saudita, Noruega, Nigeria e Indonesia, presentan considerables aumentos en sus reservas. Inversamente Bangladesh, Argentina, Taiwán, Alemania e Inglaterra, registran disminuciones en sus reservas.

Luis Sandoval (1997) apunta que “en el mundo se está produciendo una transición del petróleo hacia el gas natural-hidrógeno como el energético principal. ... Sin embargo, algunos componentes de la nueva revolución tecnológica se han ido formando, ya están los elementos mencionados, otros son las nuevas tecnologías en los servicios (información, medios de comunicación, servicios bancarios privados, transportación, ingeniería, procesos tecnológicos, labores de capacitación y adiestramiento y nuevas formas de investigación) y se va perfilando el centro de ésta: el principio energético nuevo: el gas natural-hidrógeno, el motor correspondiente y su difusión en la economía mundial. En los anteriores ciclos energéticos largos, el motor basado en el energético nuevo y su difusión ha constituido una innovación superbásica, revolucionaria. ... La nueva revolución en la economía internacional, como sus predecesoras de los siglos XVIII y XIX, tendrá que inventar a partir de ese motor, uno o varios tipos de vehículos más potentes y versátiles, tecnologías de los metales más avanzados, etcétera” (p.13).

Finalmente, el hidrógeno como se verá en los apartados siguientes, se demuestra en primer lugar que en la industria automotriz ha tenido una serie de aplicaciones tangibles a nivel mundial y que sus usos en conjunción con las celdas de combustible están reflejados en los avances científicos y tecnológicos en la actualidad.

3.2 El Hidrógeno

En la actualidad, el problema que representa la llamada crisis mundial de energía, implica no solo la escasez y altos precios del petróleo (principal energético) sino también la presencia de la energía que emita menos CO₂. El petróleo contiene un átomo de carbono por cada dos átomos de hidrógeno, mientras que el gas natural

tiene solo un átomo de carbono por cuatro átomos de hidrógeno. Esto se traduce que cada nueva fuente de energía emite menos CO₂ que su predecesora. “Las medidas que se han tomado consisten no solo en desarrollar fuentes alternativas de energía, sino de buscar nuevos métodos de conversión de energía. Además de que estas formas de energía puedan ser utilizadas presentando suficientes ventajas sobre la energía eléctrica y en la industria automotriz”...“Por esas razones se ha incrementado el estudio de combustibles sintéticos que puedan ser obtenidos de otras fuentes abundantes de energía y que a su vez sean de fácil almacenamiento y transporte” (López, 1977, pp. 3 – 12).

Entre estos combustibles sintéticos, el hidrógeno ha sido el que más ha destacado como medio potencial de energía para el futuro, porque además de ser ecológicamente atractivo, es de fácil almacenamiento y transporte y puede ser obtenido de muy diversas formas, como se verá más adelante. El hidrógeno no es una fuente de energía primaria, sin embargo puede ser transformador de energía altamente eficiente ya que puede usarse en situaciones donde la transferencia de electricidad es impracticable.

“Ya siendo constantemente estudiadas las ventajas y propiedades del hidrógeno como combustible sintético ha surgido la llamada “economía del hidrógeno”, que abarca los aspectos ecológico, energético y económico de considerar al hidrógeno como un transportador de energía desde las fuentes de energía primaria hasta el lugar donde esta es requerida y su transformación en electricidad por medio de las llamadas pilas de combustible” (López, 1977, p. 13).

El hidrógeno puede ser producido simplemente disociando moléculas de agua por medio de energía eléctrica derivada de una fuente de energía primaria tal como de un reactor nuclear, energía solar, etc. Además puede ser obtenido de procesos termoquímicos de ciclo abierto basado en la utilización de combustibles fósiles, en procesos termoquímicos de ciclo cerrado, y por otros métodos como los fotolíticos y biológicos, entre otros, que están siendo estudiados.

El transporte y el almacenamiento del hidrógeno pueden efectuarse de de diversas maneras: como un gas a presión, como hidrógeno líquido o químicamente en hidrocarburos metálicos. Otro método que se ha considerado para la distribución del hidrógeno como combustible, es el mismo que se utiliza para la distribución del gas natural, por medio de conductos subterráneos. En Alemania este método ya ha sido utilizado con muy buenos resultados. (López, 1977, pp. 7 - 13)

Otras de sus propiedades radican en que es un elemento muy versátil ya que tiene el poder de satisfacer demanda de energía eléctrica y térmica en muy diversas condiciones; como por ejemplo la producción de calor mediante su combustión, o la generación de electricidad indirectamente a partir de energía térmica o directamente mediante celdas de combustible. Los problemas tecnológicos que se habían presentado en el desarrollo práctico y económico en celdas de combustible, se han reducido con el uso del hidrógeno. Las celdas de combustible generadoras de electricidad operando a base de hidrógeno tienen por lo menos un 70% de eficiencia y puede pensarse su utilización en las casas habitación y en los edificios comerciales e industriales, en el futuro. La ventaja más grande que presenta es la aplicación del hidrógeno como combustible es la reducción en la cantidad de contaminantes tales como el monóxido de carbono, hidrocarburos, etc. Cuando la combustión del hidrógeno se lleva a cabo en presencia del aire, los únicos posibles contaminantes son óxidos de nitrógeno derivados del aire mismo, y sus concentraciones son generalmente más bajas que las concentraciones producidas por otros combustibles. Si la combustión se efectúa en presencia de oxígeno puro el único producto es agua y no aparecen contaminantes.

El hidrógeno ha sido utilizado como combustible en algunos compuestos tales como el amoníaco, metano y metanol. La utilización del metanol no es reciente, pues muchos países en tiempo de escasez de hidrocarburos, durante la segunda guerra mundial por ejemplo, han sintetizado grandes cantidades de metanol. Además el hidrógeno ha sido utilizado también en la industria del acero y otras aleaciones ferrosas, y en la licuefacción y gasificación del carbón. Existen

diferentes maneras para la producción de hidrógeno en grandes cantidades, sin embargo, todas ellas se pueden agrupar en dos: primero, aquellas en las que se obtiene hidrógeno a partir de hidrocarburos, y segundo, en las que se lleva a cabo la descomposición del agua para producirlo. De manera general se expondrán ambos grupos en la siguiente tabla de manera muy general con sus posibles fuentes de energía primaria con cada una de las técnicas que descompone el agua y las recientes investigaciones que se están llevando a cabo.

TABLA 5
PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

PROCESO	FUENTE DE ENERGÍA PRIMARIA
1.- A partir de hidrocarburos	Gas natural, naftas ligeras, petróleo y carbón
2.- A partir de agua	
2.1 Electrólisis	Uranio, carbón, energía solar, fusión, calor terrestre.
2.2 P. Termoquímicos	Uranio, carbón, energía solar.
2.3 Fotólisis	Energía solar, fusión (AI – UV)
2.4 Radiólisis	Uranio (rayos gama)
2.5 “Neutrón-lisis”	Fusión
2.6 Bioconversión	Energía solar (directa e indirecta)
3.- A partir de Biomasa	Biomasa

Fuente: elaboración propia a partir de López (1977)

“En cuanto al almacenamiento existen diversas formas para almacenar el hidrógeno en la actualidad, así como para su empleo estacionario como para el sector transporte (en forma gaseosa, líquida, combinado químicamente o adsorbido en sólidos porosos), todo esto en función de la elección de diversos factores como el proceso final en el que se vaya a aplicar, la densidad requerida, la cantidad a almacenar y la duración del almacenamiento, la existencia de otras formas posibles de energía disponibles, los costos y necesidades de mantenimiento de la instalación, y los costos de operación” (López, 1977, p. 11)

Sin embargo de manera general se agrupan en dos, el primero son los métodos tradicionales y el segundo son los métodos en desarrollo, los cuales se expondrán de manera general a continuación:

Métodos tradicionales de almacenamiento

El almacenamiento en forma gaseosa necesita que los depósitos sean pesados y voluminosos, debido a que la producción de hidrógeno es producido en este estado y se requiere que se mantenga así para sus aplicaciones, su almacenamiento es a alta presión (superiores a 20MPa) Otra de las formas tradicionales consiste en su almacenamiento en forma líquida, esta alternativa consiste en que el hidrógeno en estado líquido es almacenado en recipientes criogénicos y requiere alcanzar temperaturas de almacenamiento muy bajas (21.1 K)". (Moreno, 2009)

La combinación química (hidruros metálicos) consiste en que numerosos metales de transición, y sus aleaciones, son empleados para almacenar hidrógeno en forma de hidruros metálicos. Estos hidruros se forman por reacción con hidrógeno, siendo este absorbido en la estructura metálica, y pudiendo ser absorbido gracias a pequeñas variaciones de presión.

Capítulo IV Avances tecnológicos en la industria automotriz y en la obtención de la energía eléctrica

4.1 La energía eléctrica

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos para obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador este aplicando en sus extremos. La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica.

El avance ininterrumpido de la ciencia y de la técnica, es decir; las máquinas, herramientas, aparatos, etcétera, viejas permiten desplazar por otras más eficaces, es la condición necesaria de la industria moderna. Esta no podría existir sin revolucionar continuamente los instrumentos de producción (Cazadero, 1988, p. 176).

Los diferentes estudios sobre la revolución industrial se centran en extensos análisis de las máquinas de diferentes tipos que se introdujeron tanto en la producción como en el transporte, la nueva organización del proceso de trabajo, etcétera, pero se estudia de modo más débil el modelo energético que lo hizo posible. Cazadero (1988) explica que: “El petróleo posibilitó el motor de combustión interna que, a su vez, fue la base de los automóviles, camiones, locomotoras de tracción diesel, etcétera, que integran el transporte terrestre en la

actualidad, así como de los barcos y aviones. El sistema que forman no sería posible sin el nuevo modelo energético derivado del petróleo. La electricidad y el transporte son condición indispensable para el funcionamiento de la estructura económica, la electricidad por su parte, resulta indispensable aún en mayor medida que los hidrocarburos, como se verá a continuación. Por la electricidad accedimos al empleo de motores eléctricos que posibilitaron, o por lo menos harían menos difícil, la organización de las cadenas semiautomáticas de producción. En las comunicaciones inalámbricas, radio y televisión, así como en servicios anexos como el radar la electricidad es una condición forzosa para su existencia” (p. 177, 178).

La electricidad es uno de los dos grandes pilares del sistema energético mundial a partir del siglo XX, pues el consumo de energía eléctrica no sólo ha crecido al incrementarse la demanda energética durante la gran expansión de las fuerzas productivas, sino que la proporción que cubre de la oferta energética ha crecido continuamente, dando así en la actualidad que los pronósticos muestren un incremento del 77% entre el 2006 al 2030 (IEO 2009).

El desarrollo de las fuentes energéticas primarias hace que la producción carbonífera ya no sea un parámetro adecuado del consumo energético por lo que se ha hecho necesario centrar las diversas fuentes a una sola. Así contabilizado dicho consumo, queda evidente la gran diversidad del sistema energético que se tiene en el desarrollo industrial de las sociedades avanzadas en particular y del mundo en general. “Esto es, la gran transformación económica de la economía mundial en el siglo XX implicó una decuplicación de la base energética, así como una transformación cualitativa de la misma. De esta manera, el vínculo entre el consumo de energía y el avance científico-tecnológico que subyace en el crecimiento económico está fuera de toda duda” (Cazadero, 1988, p. 178).

Por otro lado, esta correlación, de acuerdo con todas las predicciones, se mantendrá en el futuro inmediato, de manera que, sea cual sea nuestra política, la

demanda energética se triplicara en el futuro. Dar respuesta a esta gigantesca demanda es un grave reto para la humanidad. En vista de esto, lo más destacado de la industria eléctrica, desde la perspectiva de este análisis, lo conforman las enormes oportunidades de inversión que ofrece su desarrollo y que permiten absorber las utilidades generadas por el capital altamente concentrado. Ejemplo de ello son las grandes empresas tal como American Electric Power, la cual se encuentra entre los mayores generadores de electricidad de Estados Unidos, en el año 2000 tuvo un incremento de 347%. Las ventas de esta empresa en el año 2001 fueron de 61.257 millones de dólares y obtuvo unos beneficios de 907.8 millones de dólares consiguiendo una rentabilidad sobre ventas del 1.6% y una rentabilidad económica del 2%. Como dato a observar, vemos que las empresas con mayor crecimiento son eléctricas; tiene cierta lógica si pensamos que el crecimiento de los países, el aumento del nivel de vida, la búsqueda del confort está íntimamente relacionado con el consumo eléctrico. (Estévez, 2003)

De esta manera, “lo más interesante de la industria eléctrica desde la óptica de este análisis, lo constituyen las grandes oportunidades de inversión que ofrece su desarrollo y que permiten absorber las utilidades generadas por el capital altamente concentrado. Las grandes empresas generadoras de electricidad tienen actualmente activos que rebasa los correspondientes a los principales ferrocarriles, como hemos visto, iniciaron las concentraciones gigantescas de capital hace un siglo. La energía eléctrica no sólo es un elemento insustituible técnicamente en la estructura económica derivada de la segunda revolución industrial, sino que ha tenido un papel de primer orden en el mantenimiento del equilibrio macroeconómico al absorber grandes inversiones. Importantes como son las oportunidades de inversión abiertas por la demanda de energía eléctrica son aún mayores las generadas en industrias que no existirían sin esa base energética” (Cazadero, 1988, pp. 180, 181).

Los avances científicos tecnológicos en la generación de electricidad

La electricidad es, como se ha dicho, uno de los dos grandes elementos constitutivos de la renovación de la base energética del sistema económico mundial en la actualidad. En los datos de la EIA y demás organismos internacionales dedicados a la información de la energía, se puede apreciar que el consumo de la energía eléctrica no solo ha crecido al incrementarse la demanda de energéticos, sino que la proporción que cubre de la oferta energética creció continuamente. En el International Energy Outlook 2009, la generación de electricidad neta mundial se proyecta de un 18 (Trillion Killowatthours) a un 31.8 TK y un promedio por año de 2.4%. Además la generación de electricidad en el mundo se pronostica que se incrementara por 77% de 2006 al 2030 (IEO 2009).

“La electricidad constituye una energía secundaria, pues no se obtiene directamente de la naturaleza sino que se genera a partir de las fuentes de energía primaria como el carbón o el petróleo” (Cazadero, 1988, p. 180) como por ejemplo la generación de electricidad indirectamente a partir de energía térmica o directamente mediante celdas de combustible.

...”La producción a gran escala de electricidad a partir de hidrógeno parece inadecuada desde los puntos de vista económicos, ambientales y técnicos. Sin embargo, en los casos de exceso de capacidad eléctrica, la producción de hidrógeno a partir de electricidad (electrólisis) podría ser económicamente viable. Durante los periodos pico de demanda de electricidad se podría usar el hidrógeno almacenado para generar electricidad que vuelva a la red, por medio de celdas de combustible.”³²

³² (2006) *Declaración de CAETS*, Consejo Internacional de academias de ingeniería y ciencias tecnológicas. El Rol del Hidrógeno en la Energía del Futuro. Bruselas, Bélgica. Junio 1-2,

En cuanto al gas natural los avances más importantes para la generación de electricidad radican en reducir o en no emitir dióxido de carbono,...”Un equipo de ingenieros del Instituto Tecnológico de Massachusetts en los Estados Unidos, han diseñado un nuevo equipo de planta de gas natural que podría proporcionar electricidad con cero emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, a un costo comparable o menor que las convencionales plantas de gas natural o carbón.”(Rodríguez, 2009)

... “Las celdas de combustible generadoras de electricidad operando a base de hidrógeno tienen por lo menos un 70% de eficiencia y pueden pensarse en su utilización en las casas habitación y en los edificios comerciales e industriales, en el futuro.” (López, 1977, p. 6)

Entre los principales proyectos que se tiene a nivel mundial para la generación de electricidad con hidrógeno, una de las pioneras es la empresa BP. La empresa BP es una empresa global de energía, actualmente está presente en más de 100 países. Parte de su trabajo consiste en el ingreso y el progreso en investigación y desarrollo de energías renovables. Científicos e investigadores de la empresa BP consideran que son abundantes los componentes con hidrógeno y que su utilización se divide en 50% del Hidrógeno para abonos y fertilizantes, 37% destinado a la industria petroquímica y 13% destinado a la industria química.

“La utilización del hidrógeno como vector energético consiste, desde el proyecto de BP, en un transporte fácilmente transportable de energía eléctrica (el proceso se llevaría a cabo a partir de pilas de hidrógeno). Las características que han ayudado a seleccionar el hidrógeno como combustible son que el hidrógeno contiene más energía por kilogramo que cualquier otra sustancia química y que puede favorecer la sostenibilidad del planeta” (Vilchez, 2009).

BP apuesta por el hidrógeno producido a partir de fuentes de energía renovables, concretamente de la energía solar. A través de las placas fotovoltaicas, se

transforman directamente la energía solar en electricidad. Posteriormente, a través del proceso de electrólisis se divide la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. Este hidrógeno se comprime y queda almacenado en estado gaseoso hasta su suministro. La energía intrínseca que transporta el hidrógeno es transformable en electricidad a partir de pilas de hidrógeno. Las pilas de hidrógeno representan un sistema interesante para convertir la energía, permiten obtener energía eléctrica a partir de la reacción de hidrógeno con oxígeno.

4.2 Las pilas de combustible (Fuel Cell)

La pila de combustible³³ ó Fuel Cell son sistemas electroquímicos en los que la energía de una reacción química se convierte directamente en electricidad. A diferencia de la pila eléctrica o batería, una pila de combustible no se acaba ni necesita ser recargada; funciona mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados desde fuera de la pila. Una pila de combustible consiste en un ánodo en el que se inyecta el combustible (comúnmente hidrógeno, amoníaco o hidracina) y un cátodo en el que se introduce oxidante (normalmente aire u oxígeno). Los dos electrodos de una pila de combustible están separados por un electrolito iónico conductor. En otras palabras se trata de un dispositivo electroquímico que transforma de forma continua la energía química de un combustible (hidrógeno) y oxidante (oxígeno) directamente en energía eléctrica y en calor, sin combustión. El proceso eléctrico hace que los átomos de hidrógeno cedan sus electrones. Sin embargo no almacena energía en la forma en la que lo hace una pila. Como no existe combustión, las pilas de combustible emiten pocas emisiones.

³³ Los principios básicos de funcionamiento de la pila de combustible los descubrió en 1938 el profesor suizo Christian Friedrich Schoenbein; años más tarde Sir William Robert Grove desarrolló los primeros prototipos de laboratorio de lo que él llamaba "batería de gas" y hoy conocemos como "pila de combustible", Grove usó cuatro celdas grandes, con H₂ y O₂ para producir energía eléctrica que a su vez se podía usar para generar hidrógeno y oxígeno (en la celda superior, más pequeña).

...“Las celdas de combustible representan un desarrollo potencialmente revolucionario, ya que en lugar de utilizar combustión para generar electricidad utilizan la reacción electroquímica entre el hidrógeno del combustible y el oxígeno del aire para producir electricidad, agua y calor.” (Cano, 1999)

“... El módulo de energía Nexa de BALLART, convierte el hidrógeno y oxígeno (del aire) en hasta 1200 vatios de energía eléctrica en corriente continua no regulada. Los únicos residuos son agua y calor. Todos los componentes auxiliares necesarios están integrados en este módulo: compresor de aire, turbina de refrigeración, humidificador, válvula de purgado, regulador de presión y control mediante microprocesador. Este sistema es ideal para: Investigar los parámetros que afectan a las características energéticas de los sistemas con pilas de combustible. Integración del sistema en una gran variedad de aplicaciones estacionarias o portátiles. Demostraciones de sistemas de pila de combustible para estudiantes.”³⁴

...“las pilas de combustible transforman la energía química contenida en los compuestos (por ejemplo hidrógeno o gas natural) directamente en energía eléctrica y calor sin necesidad de combustión”³⁵. Debido a su alto rendimiento y su bajo nivel de emisiones contaminantes, las pilas de combustible representan una opción muy significativa en el futuro de la generación de energía eléctrica y calor. Siemens ha investigado en varios tipos de pilas de combustible, para aplicaciones tanto móviles como estacionarias desde 1965. La pila de combustible se presenta como una interesante alternativa en la producción de energía eléctrica para un futuro no muy lejano. El conocimiento y la formación en esta aplicación abren un campo de futuro sobre el cual no acertamos a vislumbrar sus consecuencias últimas, aunque lo que está claro es que puede suponer una revolución en el mundo de la energía.

³⁴ Catálogo de venta de pilas de combustible Fuel Cell
http://www.ventusciencia.com/pdfs/h2_13xxx_ballar.pdf

³⁵ Una pila de hidrógeno es un dispositivo que a partir de la descomposición del agua mediante electrólisis en hidrógeno y oxígeno, combina ambos elementos y produce electricidad.

En un inicio el verdadero interés en el avance de las celdas de combustible, como un generador práctico, fue hasta comienzos de 1960 cuando la NASA decidió que el uso de reactores nucleares era un riesgo demasiado elevado y las baterías o paneles solares eran demasiado grandes, y decidió usar celdas de combustible en vehículos espaciales.³⁶ Durante esa década General Electric fabricó sistemas de alimentación basados en celdas de combustible para los proyectos de la Gemini y Apollo. General Electric utilizó los principios de la celda Bacon como base de sus diseños. La NASA ha financiado más de 200 proyectos de investigación para explorar la tecnología de las celdas de combustible consiguiendo que esta tecnología a un nivel viable para el sector privado. El primer autobús impulsado por celdas de combustible fue completado en 1993. Actualmente las industrias de manufactura de celdas de combustible y de automóviles han llevado a cabo importantísimos programas de validación tecnológica desde finales de los años noventa, incluyendo como se expondrá con más detalle adelante, vehículos dotados de celdas de combustible como generador, sistemas de generación de potencia estacionario y dispositivos para el reemplazo de baterías.

En general "...las aplicaciones no espaciales de las celdas se pueden agrupar en tres categorías: Transporte, plantas de generación fijas y móviles. Las celdas de combustible al ser generadoras de electricidad encuentran un amplio espectro de aplicaciones que van desde dispositivos portátiles como Laptops, Agendas electrónicas, teléfonos celulares, autos, autobuses y autobuses eléctricos, hasta la alimentación de electricidad en hogares, comercios como oficinas y escuelas, hospitales y edificios enteros. Con la gran ventaja de que en Celdas de Combustible no se requiere reemplazar o recargar, pues los reactivos son alimentados en forma continúa, por lo que tendremos disponibilidad de energía como la tengamos de reactivos, y presentan ventajas tales como menor peso y tamaño, rápido abastecimiento y mayor rango de autonomía."³⁷

³⁶ La electricidad y el agua potable para la tripulación del Space Shuttle se genera mediante celdas de combustible tipo alcalino.

³⁷ (2008) Comisión Nacional para el uso eficiente de Energía (CONUUE), "Fuentes renovables de Energía, Hidrógeno." http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2080_hidrogeno

En la industria automotriz es donde el uso de las celdas de combustibles es cada vez mayor, mundialmente las principales compañías de fabricación de autos cuentan con programas de investigación y desarrollo de las celdas en los automóviles para que puedan ser usados, pero sobre todo comprados de forma masiva. Otra de sus cualidades más significativas de las celdas de combustible radica en que su uso tiene bajo nivel de emisiones de CO₂, siendo esta la razón más importante para que se esté llevando a cabo más programas en su investigación y desarrollo, pues como anteriormente se ha expuesto, al usar el hidrógeno el único producto de la reacción es vapor de agua y este es el principal objetivo de los nuevos automóviles llamados “Vehículos Cero Emisiones”.

Entre sus posibles beneficios a largo plazo de las celdas de combustible se encuentra que además de que podrían reducir la contaminación del aire, también se podría pensar en el hecho de reducir las importaciones en los países que contaran con la generación del hidrógeno, y por ello se podría reducir el déficit comercial y generar empleos con la nueva industria, así como nuevos mercados.

4.3 La industria Automotriz

Una revolución energética desde sus inicios tiene que ser congruente cuantitativa y cualitativamente con los demás factores que la conforman, las Grandes compañías de fabricación de automóviles en el mundo tienen programas de investigación y desarrollo en el uso del hidrógeno y de las celdas de combustible.

Japón lleva varias décadas invirtiendo fuertemente por el desarrollo tecnológico de la economía del hidrógeno (entre 200 y 400 millones de dólares anuales desde 2003) con algunas de sus universidades y centros de investigación como punta de lanza. En la industria, el director ejecutivo de Honda Takanobu Ito, ya comentó en 2009 que la marca volvería a la F1 si se realizan cambios en sus planteamientos, como el uso de coches alimentados con hidrógeno. La compañía centra sus esfuerzos en el Honda FCX Clarity, el vehículo comercial más avanzado con esta

tecnología. Las energéticas con Tokio Gas a la cabeza, las que han comenzado a vender pilas de cogeneración para uso residencial como la Ene Farm Panasonic, subvencionadas por el gobierno. Se espera que con estos proyectos se pueda crear este mercado que los abarate y sean eficientes, de entrada son caros estos equipos (unos 25,000 euros), se estima que a mediano plazo se reduzca el costo hasta los 3 mil euros.

La inserción de las nuevas tecnologías en el uso del hidrógeno, va a facilitar la incorporación de unidades nuevas, lo que a la larga supone por demanda social una red de hidrogeneras en los países y ciudades y, en paralelo, el abaratamiento y expansión de la tecnología en todas sus aplicaciones desde portátiles a vehículos y energéticas. Adicionalmente, la firma de varios acuerdos de cooperación tecnológica que Japón está firmando con gobiernos de Europa y Latinoamérica podría ser la antesala a la certificación y por tanto a la creación de mercado de esta tecnología que en Japón es ya una realidad cada vez más cotidiana.

“El proyecto CUTE (Clean Urban Transport for Europe) el primero a nivel mundial, en el que se investiga simultáneamente con la producción de Hidrógeno, su suministro en los centros urbanos y la operación de vehículos con pilas de hidrógeno en redes comerciales de transporte público. Como parte del proyecto, 27 autobuses de hidrógeno circulan por las calles de nueve ciudades europeas (Ámsterdam, Barcelona, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Madrid, Oporto, Estocolmo, Stuttgart) durante dos años” (Vilchez, 2009).

“Los autobuses del proyecto CUTE, desarrollados por Evobus, filial de autobuses del grupo Daimler Benz, disponen de una pila de hidrógeno de intercambio protónico que suministra una potencia eléctrica de 205KW, lo que permite tener unos niveles de aceleración y comportamientos similares a los del autobús diesel convencionales. El hidrógeno está acumulado como gas a 350 bares de presión en nueve cilindros de 205 litros situados sobre el autobús, por lo que la capacidad del vehículo no se ve afectada por la dimensión del mismo. Los autobuses disponen de servicios adicionales, como aire acondicionado o dirección asistida,

que también están alimentados por el motor eléctrico central. La Comisión Europea ha financiado el 35% de presupuesto del proyecto, mientras que el resto lo han aportado los socios del mismo (suministradores de autobuses y equipos y operadores de transporte)” (Vilchez, 2009).

En el proyecto de Barcelona, los autobuses del cual se presentaron en septiembre del 2003, se han construido por las empresas Transporte Metropolitanos de Barcelona (TMB) Y BP. En el proyecto se ha optado por producir el hidrógeno por medio de un proceso de electrólisis del agua, que cuenta con una aportación de electricidad renovable. En la planta, el combustible se almacena en botellas de la propia estación y se suministra en alta presión a los autobuses, mediante un surtidor conectado a un compresor durante la noche. En Barcelona tres autobuses circulan desde 2003, demostrando que se puede evitar emisiones de CO₂ a la atmósfera y garantizar un servicio público limpio y eficiente.

Actualmente, en la estación de servicio BP únicamente un 10% del hidrógeno suministrado a los autobuses tiene origen en la energía solar. La gran mayoría del hidrógeno se obtiene a partir del gas natural.

“En el proyecto Madrid, en el que participan: la empresa municipal de transportes de Madrid, Gas Natural, Repsol YPF, Air Liquide, el hidrógeno se produce mediante un vapor reformado de metano, que es completamente para el suministro de hidrógeno procedente de plantas industriales” (Vilchez, 2009).

Shell es una empresa dedicada al sector energético, más concretamente a la obtención y el suministro de combustibles fósiles. Sin embargo, la empresa está consciente que aparte de producir energía que exige el presente tiene que crear una base energética de futuro. Shell Hydrogen es un grupo de trabajo e investigación en Shell, su objetivo fundamental es promover un desarrollo eficaz del hidrógeno como combustible, ejemplo de ello es que se han creado diversas estaciones de hidrógeno en Islandia, Japón, Europa y los EE.UU.³⁸

³⁸ El 8 de Diciembre de 2004, Shell inauguró en Washington la primera gasolinera con surtidor de hidrógeno en los Estados Unidos; el 25 de abril de 2003 Islandia abrió el jueves la primera estación

Las pilas de hidrógeno están empezando a funcionar en el campo de la automoción³⁹ en los Estados Unidos, Canadá, Islandia y Europa. El proyecto Shell Hydrogen es un negocio global del grupo de compañías y empresas Shell con cuatro principales: dos en Ámsterdam, una en Houston y otra en Tokio.

Algunos de los vehículos con hidrógeno con los que está trabajando Shell ya se han puesto en marcha y están en la carretera. Shell Hydrogen piensa que se podrá disfrutar de los beneficios del sistema de pilas de hidrógeno en un corto espacio de tiempo. Esta tecnología, se está estudiando y desarrollando en Shell, para ser aplicada en los vehículos. De hecho, la empresa también está trabajando para mejorar todo el método de obtención del hidrógeno. Shell cree que la revolución energética del hidrógeno se llevará a cabo, ya que la tecnología del hidrógeno será un éxito en el mercado mundial. Las Ventajas concretas del hidrógeno desde el punto de vista del grupo de trabajo de Shell Hydrogen es que el hidrógeno puede ser económicamente competitivo con la gasolina y el diesel, puede ayudar a prevenir la depresión y reducción de las reservas de los combustibles fósiles. El proyecto Shell de hidrógeno en Islandia se llama ECTOS, consiste en la realización de una estación de servicio de hidrógeno. Esta estación funciona con la tecnología de la electrólisis y representa el resultado de la búsqueda de todos los miembros e investigadores de Shell Hydrogen.

El proyecto CityCell (Fuel Cell Energy in Cities), en el que participan Madrid, París y Turín, está dedicado a la experimentación con el funcionamiento, en condiciones reales, de autobuses de hidrógeno híbridos con baterías eléctricas. El objetivo marcado es demostrar que, por medio de la hibridación, se pueden utilizar pilas de combustible más pequeñas, con un precio más bajo y para poder beneficiarse de las ventajas del mayor volumen del mercado de las pilas de combustible que se esperan en el segmento de la automoción. Un sistema de propulsión de este tipo y capacidad es totalmente nuevo en el transporte público a nivel mundial.

de servicio del mundo dedicada a abastecer de combustible a los vehículos propulsados por hidrógeno, el ministro inauguró llenando su furgoneta Mercedes-Benz Sprinter, un prototipo subvencionado por la Unión Europea que funciona con hidrógeno.

³⁹ Estudio o conocimiento acerca de las máquinas que se desplazan por la acción de un motor y, especialmente, de los automóviles. Asimismo es el sector de la industria relativo al automóvil.

El autobús se ha fabricado por la empresa Irisbus (Grupo Iveco), que también coordina el proyecto. El fabricante ha contado con el soporte del ministerio de Ciencia y tecnología (Profit). En el proyecto también participan el Instituto Madrileño de desarrollo de la comunidad de Madrid. En Barcelona se ha construido una estación productora y suministradora de hidrógeno en las instalaciones de TMB de la zona Franca. El hidrógeno se produce por medio de la electrólisis del agua, por eso, se ha construido una gran instalación de energía solar fotovoltaica sobre una marquesina. La planta de Madrid, en la que los autobuses del proyecto CUTE y de Citycell comparten surtidor, ya está acabada y en funcionamiento actualmente.

Por otra parte en México, la UNAM también cuenta con su proyecto llamado ECOVÍA, es un vehículo compacto híbrido mexicano, que funciona con hidrógeno, celdas de combustible y energía eléctrica. Forma parte del macroproyecto la Ciudad Universitaria y la Energía, que dependen del posgrado de diseño Industrial, con sede en la Facultad de Arquitectura, enmarcado en el programa Transdisciplinario en Investigación y Desarrollo para Facultades y Escuelas. Este auto, en vez de llenarse con gasolina, los dos tanques se cargan con hidrógeno que, al entrar en contacto con las celdas de combustible, genera energía eléctrica con que trabaja el motor. El Director de este proyecto es el coordinador de Posgrado, Oscar Salinas Flores.

El grupo H2A de Análisis del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), anunció la disponibilidad para su uso gratis, de dos nuevos modelos para abastecimiento de hidrógeno. El escenario del modelo H2A utiliza un enfoque de economía de la ingeniería para la estimación de costos con base en los tipos y tamaños de mercado, así como también en la penetración de mercado de vehículos a hidrógeno.

Conclusiones

Las transiciones energéticas toman tiempo debido a su incorporación paulatina en el sistema de producción de la sociedad, esto es, porque cambia la estructura de la actividad económica.

Cuando un energético tiene más de un uso de forma simultánea en la actividad económica, es normal que en sus inicios no sea evidente, debido a que usualmente los productos energéticos no son objetos directos del consumo de los individuos⁴⁰, sino que son utilizados por medio del consumo de un conjunto de bienes finales, de carácter generalmente duradero (autos, maquinaria, pilas, etc) que requieren que efectivamente puedan consumir energía. Esto es que la energía es usada por los bienes finales, al necesitar consumirla en forma individual.

Las fuentes de energía son objetos de consumo individual indirecto del hombre, se les destina a tres usos principales, a saber: los urbanos, los domésticos y los de transporte. Es por ello que la finalidad de esta tesis es exponer a los usos de la energía, enfocado a los energéticos meramente como productos, esto es, como resultado del trabajo de la sociedad, cargado de un conjunto de características que le confieren la cualidad de satisfacer determinadas necesidades humanas. El uso de la electricidad y el transporte es indispensable en las necesidades de la sociedad actual, los avances científicos y tecnológicos, en la generación de la electricidad son evidencia de una transición energética. En la industria del transporte, los avances científicos y tecnológicos, en los vehículos y en el combustible que en ellos se utiliza es una demostración de esta transición.

⁴⁰ Los principales bienes económicos energéticos que fungen directos del consumo humano, lo son los animales y la madera. Se puede considerar por otra parte, que la irradiación solar, constituye el objeto de consumo energético directo universal del hombre, en tanto que las personas cotidianamente consumen la energía proveniente del sol, bajo la forma de luz y calor y desde esta perspectiva la energía solar no sería un bien económico.

El uso del hidrógeno y principalmente el empleo de las celdas de combustible representan un desarrollo potencialmente revolucionario en la generación de electricidad y en la industria automotriz. Al ser generadoras de electricidad encuentran un amplio espectro de usos que van desde dispositivos portátiles como laptops, agendas electrónicas, teléfonos celulares, autos, autobuses y autobuses eléctricos, hasta la alimentación de electricidad en hogares, comercios, oficinas, escuelas, hospitales y edificios enteros. Con la gran ventaja de que en las celdas de combustible no se requiere reemplazar o recargar, pues los reactivos son alimentados en forma continua, por lo que tendremos disponibilidad de energía en reactivos, presentando grandes ventajas como menor peso y tamaño (sin cables) rápido abastecimiento y mayor rango de autonomía.

En la Industria automotriz el uso de las celdas de combustible y del hidrógeno como energético está en expansión. Mundialmente las principales compañías de fabricación de autos cuentan con programas de investigación y desarrollo para la construcción de celdas en automóviles para que puedan ser usados, dirigiendo los proyectos para su producción masiva.

Existe una evidencia clara del uso del hidrógeno y su consecuente aplicación en la pilas. Está avalada porque los avances científicos y tecnológicos tienen lugar en proporción directa con el incremento de la demanda de energía, y esta demanda está directamente correlacionada por las oportunidades de inversión abiertas por la demanda de la industria automotriz y de la generación de energía eléctrica. La electricidad por su parte, resulta indispensable aún en mayor medida que los hidrocarburos, ejemplo de esto es que en las comunicaciones inalámbricas, radio, televisión, la informática, etcétera, es requisito indispensable para su existencia. En otras palabras, importantes son las oportunidades de inversión por la demanda de energía eléctrica, son aún mayores las generadas en industrias que no existirían sin esa base energética, el mejor ejemplo es la empresa telefónica.

De esta manera, la industria automotriz no solo es un elemento insustituible técnicamente en la estructura económica derivada de la segunda revolución industrial, sino que ha tenido un papel de primer orden en el mantenimiento del equilibrio macroeconómico al absorber grandes inversiones, así cualquier esfuerzo de investigación para la sustitución del petróleo como fuente principal en esta industria y el financiamiento de las investigaciones en busca del progreso tecnológico que faciliten la realización de grandes volúmenes de producción van dirigidos al uso de las celdas de combustible (Fuel Cell) y el hidrógeno como energético (independientemente de la materia prima que se use en su generación).

Por lo tanto los dos grandes elementos tecnológicos de esta transición son las celdas de combustible y el gas natural-Hidrógeno, los cuales son la base para generar una multitud de innovaciones, desde los vehículos hasta los aparatos electrodomésticos.

Para que una revolución energética sea congruente cuantitativamente y cualitativamente con los factores de producción que la conforman, ésta debe de contar con un nuevo sistema energético que contribuya a darle funcionalidad. Este supuesto extraído de la historia está avalado en esta tesis por la información empírica que se proporciona de las tendencias actuales de la tecnología, los beneficios ambientales y la información sobre los estudios de las empresas o instituciones que se están llevando a cabo y que hacen referencia al objetivo.

La utilización del hidrógeno como vector energético consiste en:

- Un transporte de energía fácilmente transformable en electricidad, este proceso se llevaría a cabo a partir de pilas de hidrógeno.
- El hidrógeno como el nuevo combustible, contiene más energía por kilogramo que cualquier otra sustancia química y favorece a la sostenibilidad económica y ecológica del planeta. Además puede ser

producido por fuentes de energía renovables, entre las nuevas técnicas de producción que se están investigando una de las más avanzadas es la fotobiología la cual implica la utilización de la luz solar.

- El hidrógeno puede ser económicamente competitivo con la gasolina y el diesel debido a su impacto en la estructura de costos de la industria.
- El hidrógeno puede ayudar a prevenir la posible escasez y/o reducción de las reservas de los combustibles fósiles.

Luis Sandoval, en texto inédito, propone una sugerente idea, “actualmente nos encontramos nuevamente en la transición, desarrollando el nuevo motor, con su nuevo energético, el gas natural-hidrógeno, el nuevo tipo de transporte y los nuevos materiales adecuados a ellos. Posteriormente se desarrollarán las infraestructuras adecuadas. Todo ello forma un sistema fuertemente interrelacionado, en el que históricamente han incididos algunas ramas industriales que impusieron el desarrollo de tal paradigma, por ejemplo, la industria textil en la Gran Bretaña del siglo XIX.”

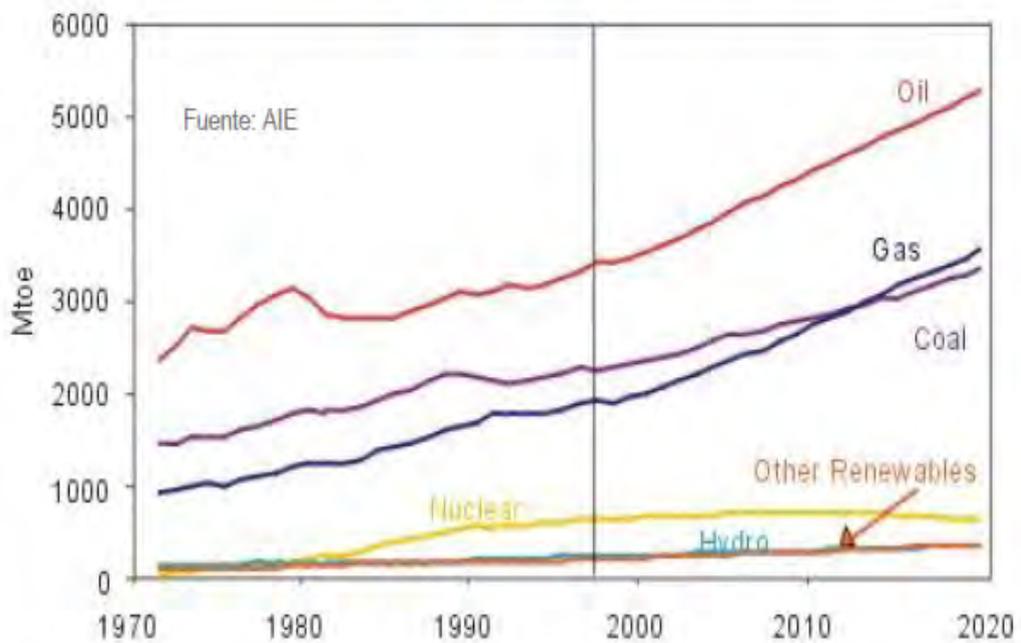
En resumen proponemos como objetivo a mediano plazo que en México se fomente la investigación y el desarrollo en el uso del hidrógeno y se permita una transición hacia el y no rezagarnos en la utilización de este energético.

ANEXO



1.- Por que Hidrógeno ?

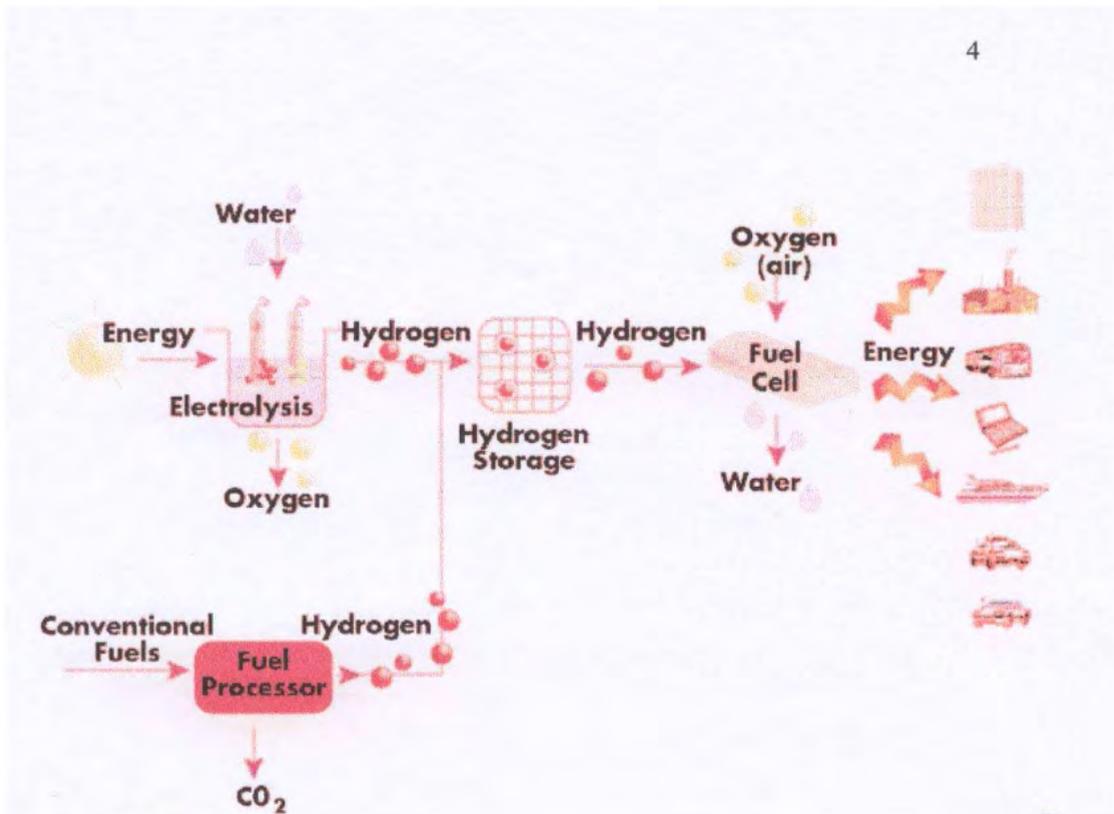
World Primary Energy Supply by Fuel 1971-2020



Fuente: La sociedad mexicana del hidrógeno.



Producción de hidrógeno para el proyecto CUTE



Proceso de producción de hidrógeno utilizado por Shell

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).



Autobús de Hidrógeno

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).

Proyectos que están siendo utilizados en Islandia

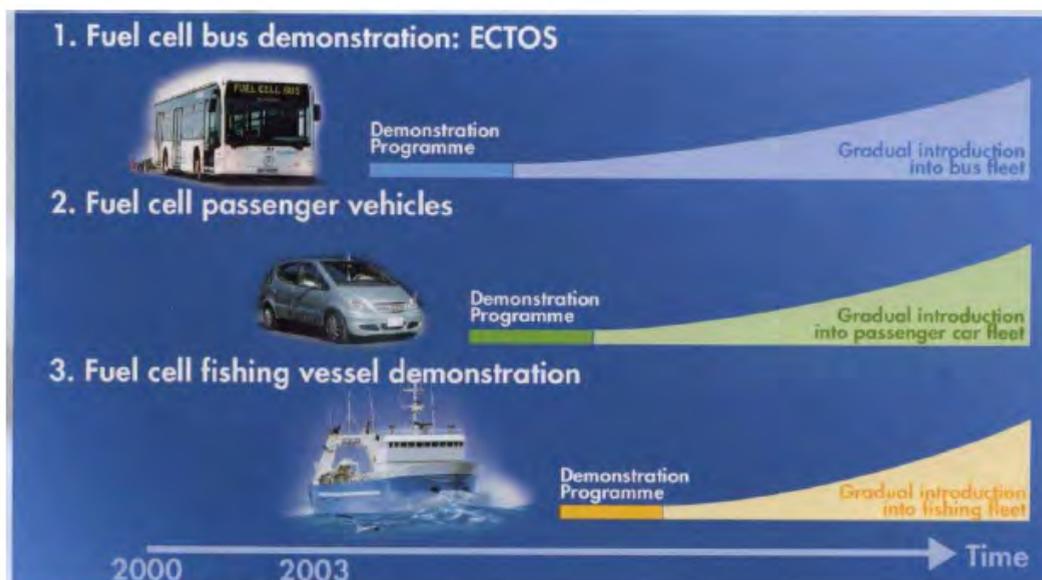


Imagen virtual de una estación de hidrógeno (Shell)



Figura 7: Imagen virtual de una estación de hidrógeno

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).

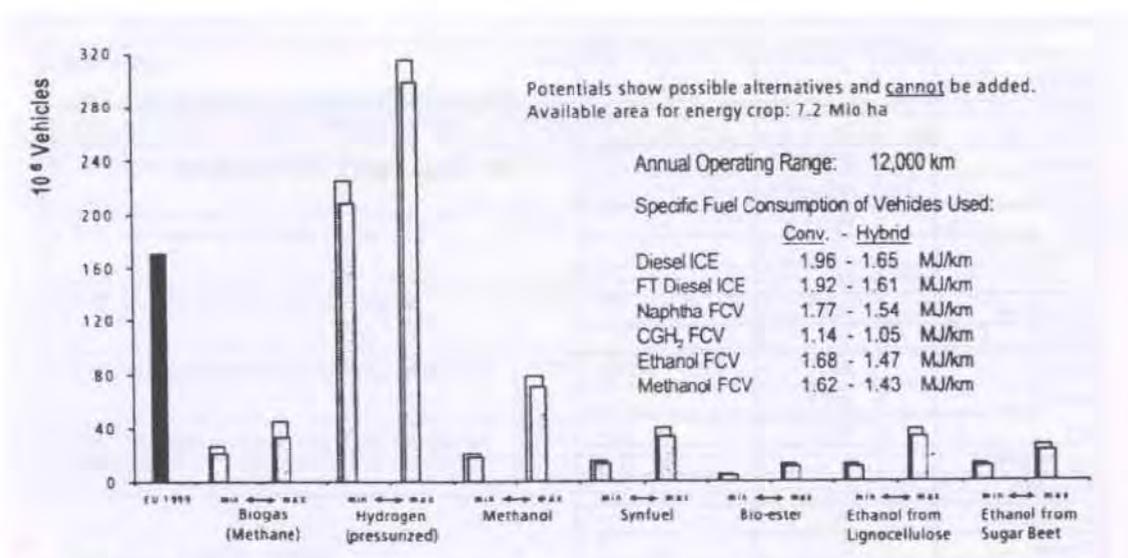


Figura 11: número de vehículos que pueden sustituir su combustible por otros procedentes de fuentes de energía renovables antes del año 2.020 tal y como queda reflejado en el estudio, el hidrógeno será la fuente de energía más utilizada sobre el año 2.020, seguido del metanol y dejando atrás otras fuentes alternativas

Air Liquide	Air Products
BP	Aral
Linde	Messer
Repsol Ypf	Shell
Total Fina Elf	Hofer
Advantica technology	Ballast Nedam
Bauer Kompressoren	Brochier
Burton Corblin	Greenfield
Marconi commerce systems	Vandenborre technologies

Figura 12: Compañías europeas que facilitan el estudio y la investigación del hidrógeno

<i>País</i>	Nombre de projectes
Austria	15
Bèlgica	14
Suïssa	15
Alemanya	58
Dinamarca	81
Espanya	25
Finlàndia	14
França	46
Gran Bretanya	133
Grècia	8
Islàndia	1
Irlanda	6
Itàlia	57
Liechtenstein	0
Luxemburg	1
Holanda	54
Noruega	21
Portugal	9
Suècia	32
TOTAL	366

Figura 13: número de proyectos llevados a cabo en la unión europea relacionados con el hidrógeno

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).

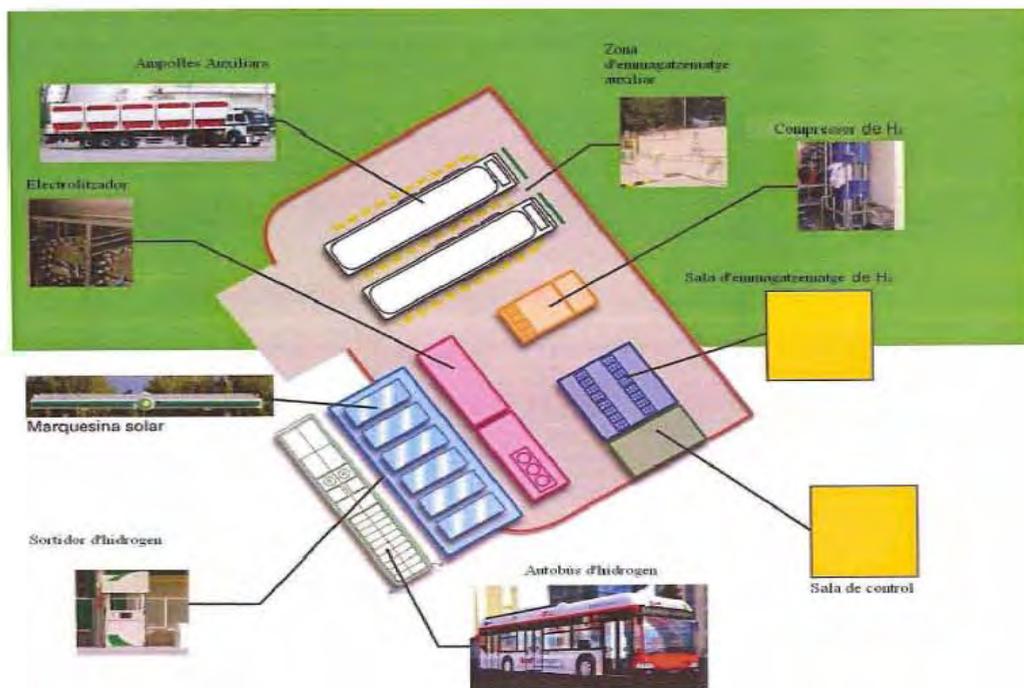


Figura 15: Esquema de la planta de Barcelona

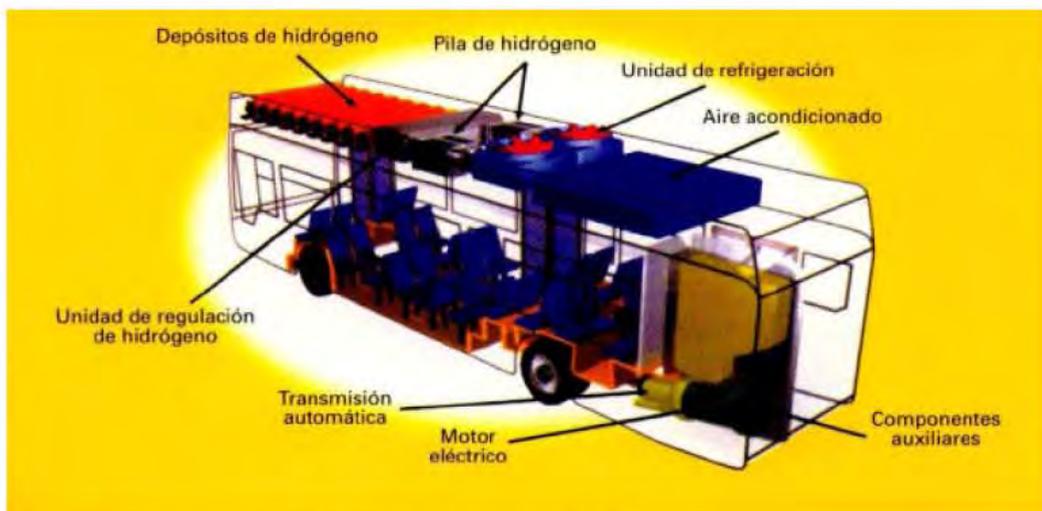


Figura 16: Autobús de CUTE

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).

Ecovía, el primer híbrido mexicano

Categorías: Híbridos / Hidrogeno / Noticias



Fuente: Boletín UNAM-DGCS-532 (2008), Ciudad Universitaria.



Figura 18: Estación de servicio de Madrid

Dos ejemplos de casos desarrollados en el centro de investigación tecnológica y electroquímica son el funcionamiento de una radio y un móvil mediante pilas de combustible

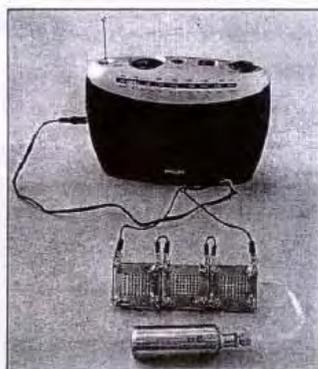


Figura 19: Radio (1º proyecto – dic. 2001)



Figura 20: Teléfono móvil (2º proyecto – dic. 2002)

Fuente: Vílchez Moreno, Raúl. (2009).

Bibliografía

Acevedo Aceves, Arturo. (1981). *La economía de la energía*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Economía, México: UNAM.

Ángel Martín Municio, Antonio Colino Martínez (2004) *Diccionario español de la energía con vocabulario inglés-español* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Real Academia de Ingeniería.

Barnes, H.E. (1973). *Historia de la economía del mundo Occidental*. México: UTHEA.

Bernal D, John. (1972). *La ciencia en la Historia*. México: Nueva imagen/UNAM.

Brayer, Roberta; Karner, Donald; y Francfort, James (2006). *Hydrogen and hydrogen/Natural gas station and vehicle operation-2006 summary reports*. USA: Department of Energy.

Cano Castillo, Ulises. (1999) "Las celdas de combustible; verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica", *Boletín IIE*, España, septiembre / octubre.

Castellanos, Alfonso y Escobedo, Margarita. (1980). *La energía solar en México.*, México: Centro de Ecodesarrollo.

Cazadero Flores, Manuel (1988). *Energía y tercera revolución industrial*. Tesis de doctorado, Facultad de Economía, UNAM, México.

Centro para el Estudio de Medios y Procedimientos Avanzados para la Educación (1978). *Formación del mundo moderno. Volumen 1*. México: CAMPAE.

Centeno, Roberto. (1974). *La economía del petróleo y del gas natural*. España: Tecnos.

Centeno, Roberto. (1982). *El petróleo y la crisis mundial: Génesis, evolución y consecuencias del nuevo orden petrolero*. Madrid: Alianza.

Chambers, Ann (2001) *Distributed Generation: Nontechnical Guide*. Penn Well: Tulsa.

Chevalier, Jean Marie. (1974). *La baza del petróleo*. España: Laia.

Comisión de Energéticos. (1975). *El carbón mineral*. México.

- Declaración de CAETS, Consejo Internacional de Academias de Ingeniería y Ciencia tecnológicas (2006). *El rol del hidrógeno en la energía del futuro* CAETS. Bruselas
- Domínguez, Juan José (2002, Marzo- abril). "Celdas de combustible" *Anales de mecánica y electricidad*
. www.icaei.es/publicaciones/anales_get.php?id=619
- Energy Information Administration. (2006). *International Energy Annual*. USA: DOE
- Energy Information Administration. (2009). *International Energy Outlook*. USA: DOE.
- Instituto Mexicano del Petróleo. (Varios años). *Energéticos*. México: Instituto Mexicano del Petróleo.
- López, Cayetano. (2003) "La Quimera del hidrógeno", *El País*, España, 23 de marzo.
- López Vancell, Emma. (1977). *Uso del hidrogeno como energético*. Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias (Física). México: UNAM.
- Marchetti, Cesare. (1971). "Hydrogen, Mastery key to the energy market" *Scientific and technical Review of the European Communities*, Euro Spectra, X (4): 117-130.
- Mulas, Pablo. (2005). "Una visión al 2030 de la utilización de las energías renovables en México" *proyecto encargado por la Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico, y Medio Ambiente de las Subsecretaría de Planeación Energética y desarrollo tecnológico, SENER y el Banco Mundial*. México: UAM
- O'Connor, Harvey. (1963). *La crisis mundial del petróleo*. Argentina: Platina.
- ONU. (1957). *Nuevas fuentes de energía*. USA: ONU
- Organization for Economic Co-operation. (1999). *Energy: the next fifty years*. USA: OCDE.
- Peyret, Henry (1963). *La Batalla de la energía*. Argentina: EUDEBA.
- Rhodes, Richard.(2002) "Energy transitions: a history lesson" *Sixth International Symposium on Fusion Nuclear Technology in San Diego, CA*.

- Rodríguez, Eugenio, (2009) "Plantas de gas natural que generan electricidad con cero emisiones" *Bioingeniería*, México.
- Sandoval Ramírez, Luis. (2002). *La hegemonía mundial de las potencias. Una aproximación teórica*. IIEc. UNAM.
- Sandoval Ramírez, Luis. (...) *Las revoluciones tecnológicas y los ciclos centenarios* (inédito) IIEc, UNAM.
- Sandoval Ramírez, Luis. (1997). La transición internacional hacia un nuevo patrón energético. *Momento Económico*. Marzo-abril.
- Secretaría de Educación Pública. (1978). *Petróleos mexicanos, 1938-1978*. México: SEP.
- Tugendhat, Cristopher. (1969). *Petróleo: El mayor negocio del mundo*. España: Alianza.
- Vílchez Moreno, Raúl. (2009). *Estudio de alternativas para el suministro energético de una vivienda unifamiliar aislada en la población de Lliçà d'Amunt*. Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya.